

試験船のピックデータを活用した水産資源の解析の検討

佐藤 大介

目 的

試験船による日本海トロール調査の 17 年分のデータを活用し、魚種別に漁獲量に影響を与える環境要因の分析と、新たな資源量指標値の探索を行う。

材料と方法

(1) 漁獲量に影響を与える環境要因の分析

青森県および水産総合研究所では、底魚類の資源状況を把握するため、青森県日本海沿岸の水深 100 - 300m 付近に調査定点を設け、試験船青鵬丸を用いたオッタートロール網による漁獲物調査を行ってきた。2007 - 2023 年の重要魚類資源モニタリング調査で得られた結果¹⁻¹⁷⁾から、ひと網ごとの魚種別採捕尾数と操業情報、海洋環境データをデータベース化し、重要魚種および出現頻度が高い魚種、計 14 魚種（ハタハタ、マダラ、スケトウダラ、ヤリイカ、ムシガレイ、ヤナギムシガレイ、マガレイ、アカガレイ、ソウハチ、ヒレグロ、ホッケ、アカムツ、ハツメ、カナガシラ）を対象に、統計モデルを用いて環境要因が漁獲量に与える影響を分析した。モデルは GLM デルタ二段階モデル（以下、GLM モデル）および GAM デルタ二段階モデル（以下、GAM モデル）を使用し、説明変数を[年（カテゴリーカル）、月（カテゴリーカル）、緯度、経度、水深]として、パラメータ推定を行った（表 1）。GLM は説明変数との線形関係を前提とする一方、GAM は非線形な関係性も捉えることができるため、モデル間で結果を比較し、魚種ごとの傾向の特徴を明らかにすることを目的とした。デルタ二段階モデルは、漁獲有無の発生確率を扱う第 1 段階（有漁確率モデル）と、有漁時の採捕量を扱う第 2 段階（有漁トレンドモデル）から構成される。本モデルでは、有漁確率モデルの応答変数を「採捕の有無」とし、有漁トレンドモデルでは応答変数を「有漁曳網 1 回あたりの採捕尾数」、スプライン項を[s(緯度、経度)、s(水深)]、オフセット項を「曳網面積」とすることで、単位面積当たりの採捕尾数として計算した（表 1）。GLM モデルでは、緯度と経度のデータについてそれぞれの平均値との差を求めてセンタリングした。また、AIC を基準とした総当たり法により説明変数の組み合わせを比較し、最も当てはまりの良い式を採用した。各モデルのパラメータの推定及び説明変数の選択には統計ソフト R（ver. 4.2.3）¹⁸⁾ およびパッケージ mgcv¹⁹⁾、MuMin²⁰⁾ を使用した。なお、8 月の調査は 2009 年、2010 年のみ実施のため、解析から除外した。また、水温は欠測期間があったため解析には使用しなかった。

表 1. 解析に用いたモデル式

GLMデルタ二段階モデル	有漁確率モデル	$\text{logit}(P(\text{catch} = 1 \text{ or } 0)) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{year} + \beta_2 \cdot \text{month} + \beta_3 \cdot \text{latitude} + \beta_4 \cdot \text{longitude} + \beta_5 \cdot (\text{latitude} \times \text{longitude}) + \beta_6 \cdot \text{depth}$
	有漁トレンドモデル	$\log(E[\text{catch count}]) = a_0 + a_1 \cdot \text{year} + a_2 \cdot \text{month} + a_3 \cdot \text{latitude} + a_4 \cdot \text{longitude} + a_5 \cdot (\text{latitude} \times \text{longitude}) + a_6 \cdot \text{depth} + \log(\text{area})$
GAMデルタ二段階モデル	有漁確率モデル	$\text{logit}(P(\text{catch} = 1 \text{ or } 0)) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{year} + \beta_2 \cdot \text{month} + s_1(\text{depth}) + s_2(\text{longitude}, \text{latitude})$
	有漁トレンドモデル	$\log(E[\text{catch count}]) = a_0 + a_1 \cdot \text{year} + a_2 \cdot \text{month} + s_1(\text{depth}) + s_2(\text{longitude}, \text{latitude}) + \log(\text{area})$

(2) 新規資源量指標値の探索

魚種ごとに資源変動要因や動向の把握に活用可能な資源量指標値の探索を行った。各魚種の GLM モデルで AIC 基準で採用された式から年ごとの予測値を取り出し、有漁確率と有漁時の採捕尾数の積を GLM 標準化 CPUE

として算出した。GLM モデルについても同様に計算し、GLM 標準化 CPUE とした。また、データベースから算出した単位曳網面積あたりの採捕尾数の年平均値をノミナル CPUE とした。さらに、各年の値をそれぞれの CPUE の平均値で除して基準化し、標準化 CPUE 及びノミナル CPUE の変動を比較した。

結果と考察

(1) 漁獲量に影響を与える環境要因の分析

GLM モデルおよび GAM モデルでは、14 魚種すべてでパラメータ推定が収束した。GLM モデルでパラメータ推定した結果を図 1 に、GAM モデルでパラメータ推定した結果を図 2 に、各モデルの最尤モデルに選択された説明変数を表 2、表 3 にそれぞれ示す。

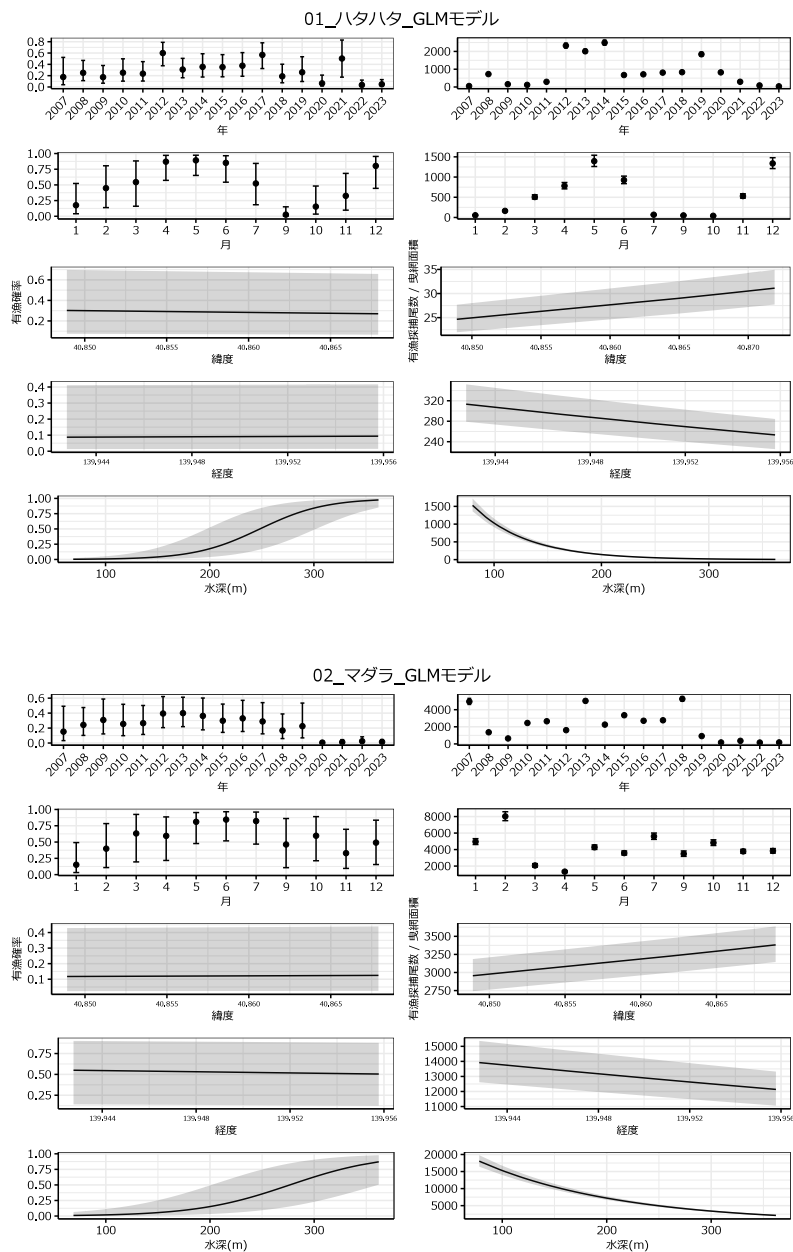


図 1-1. GLM モデルでパラメータ推定した結果

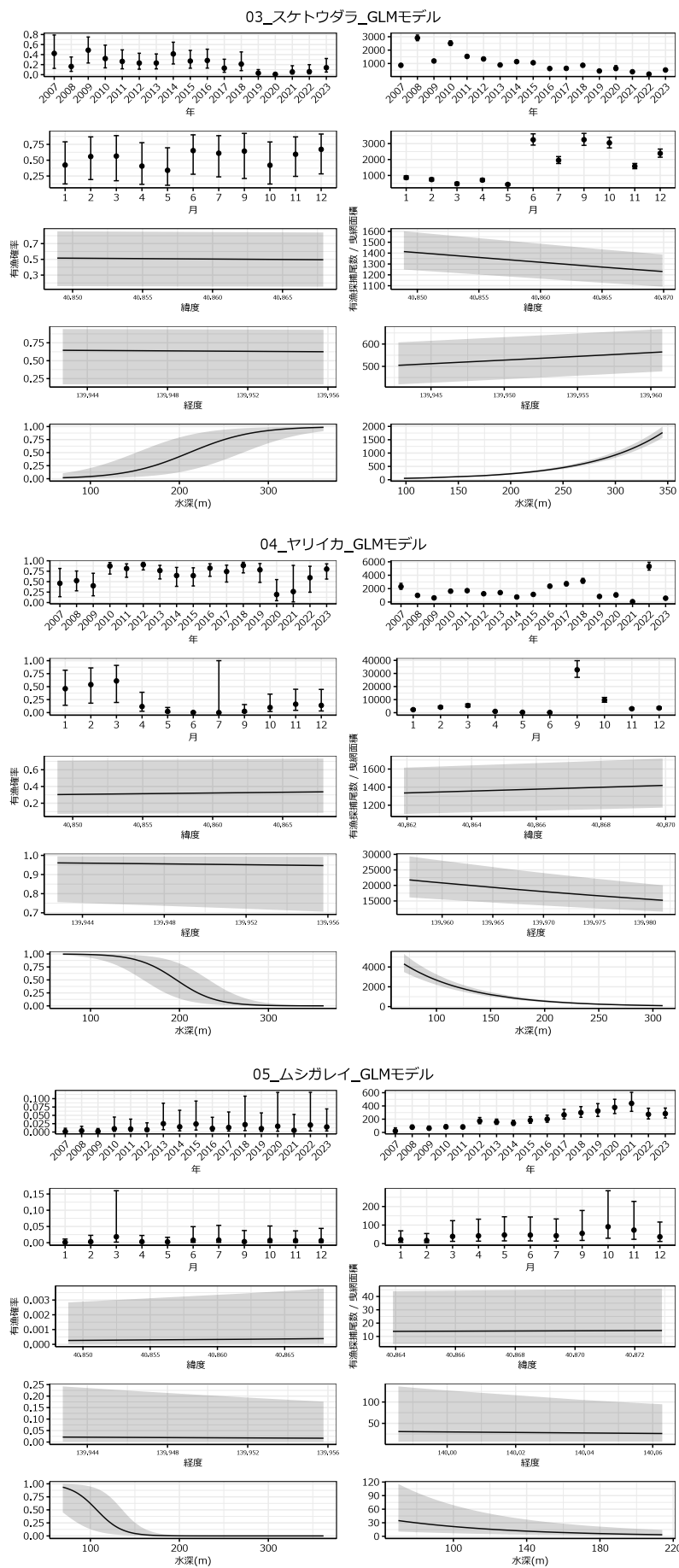


図 1-2. GLM モデルでパラメータ推定した結果

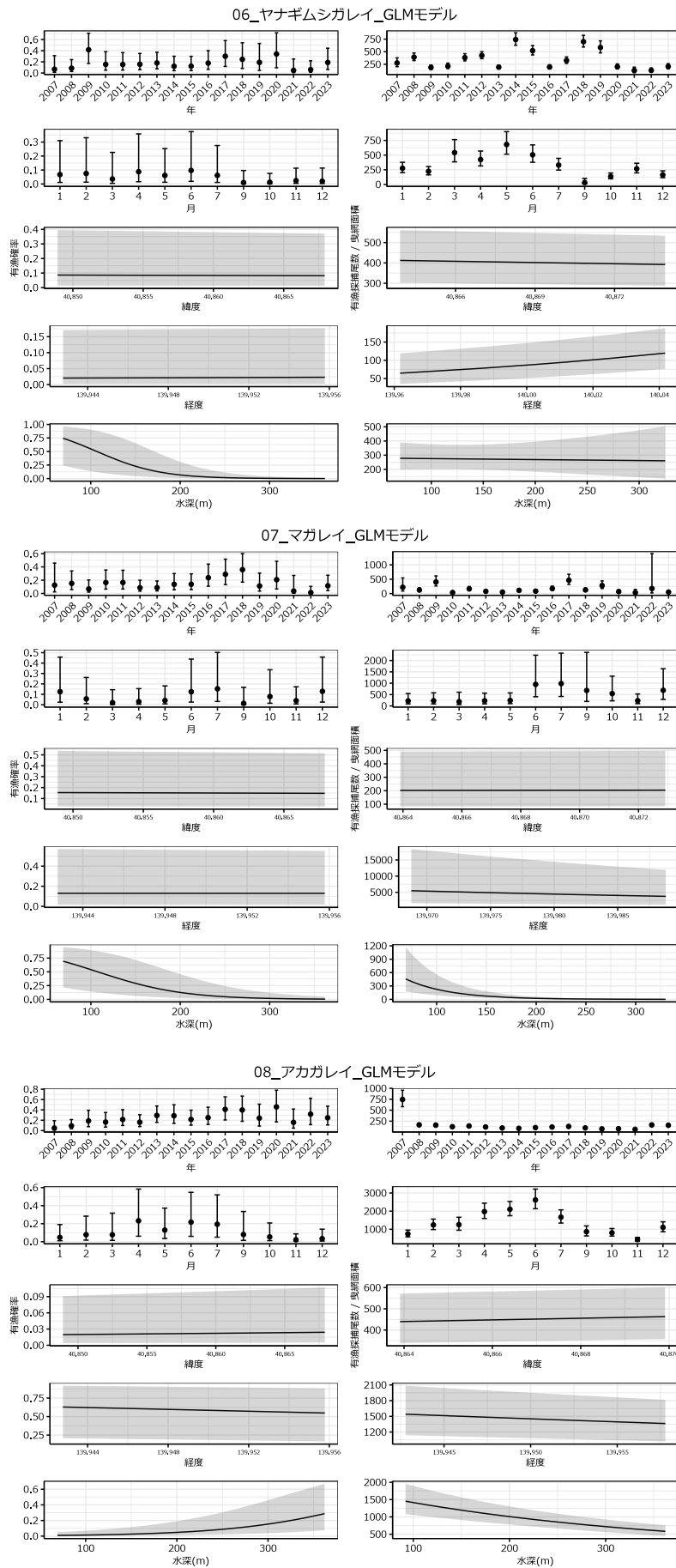


図 1-3. GLM モデルでパラメータ推定した結果

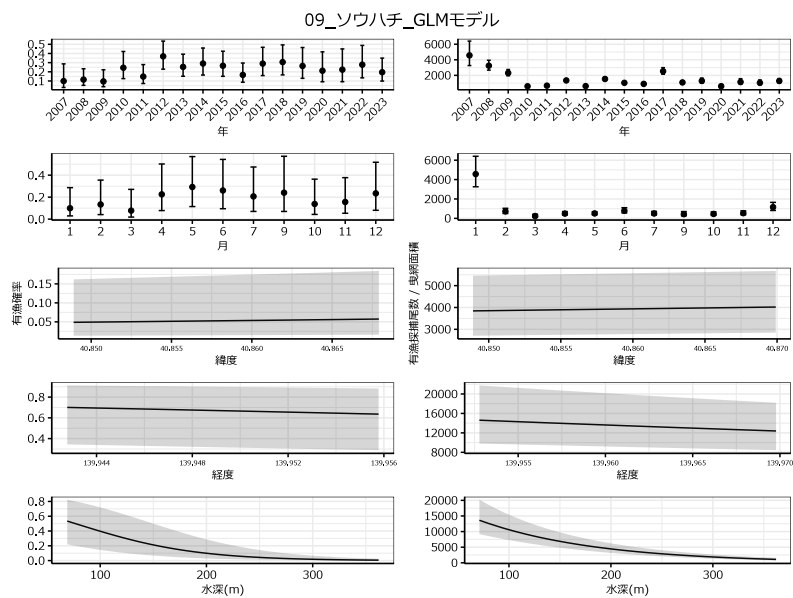
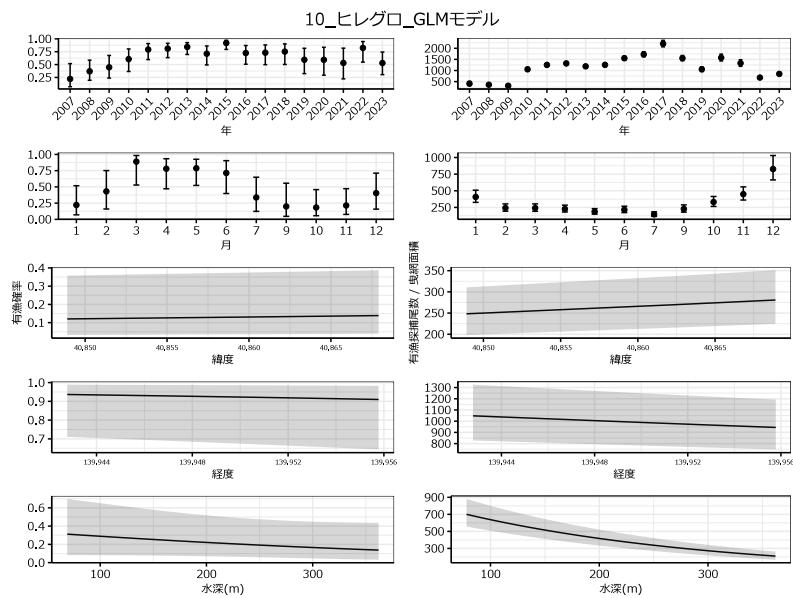
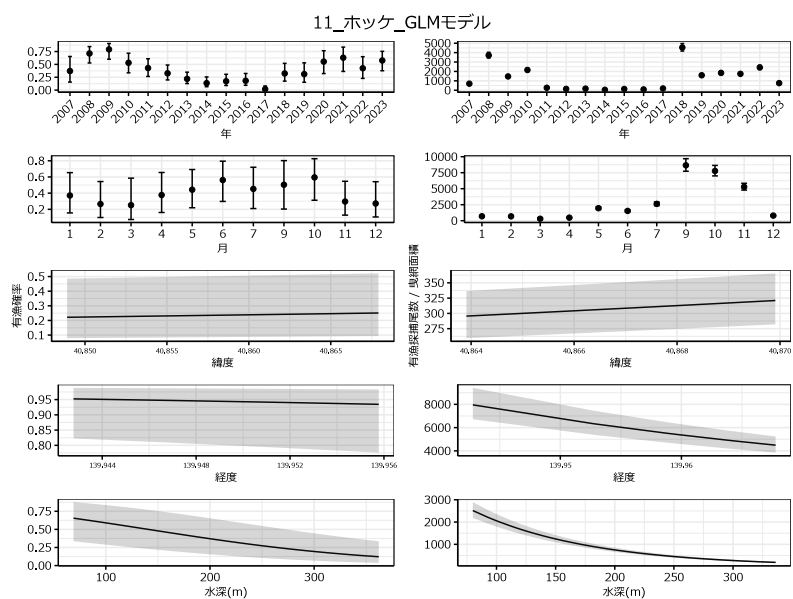


図 1-4. GLM モデルでパラメータ推定した結果

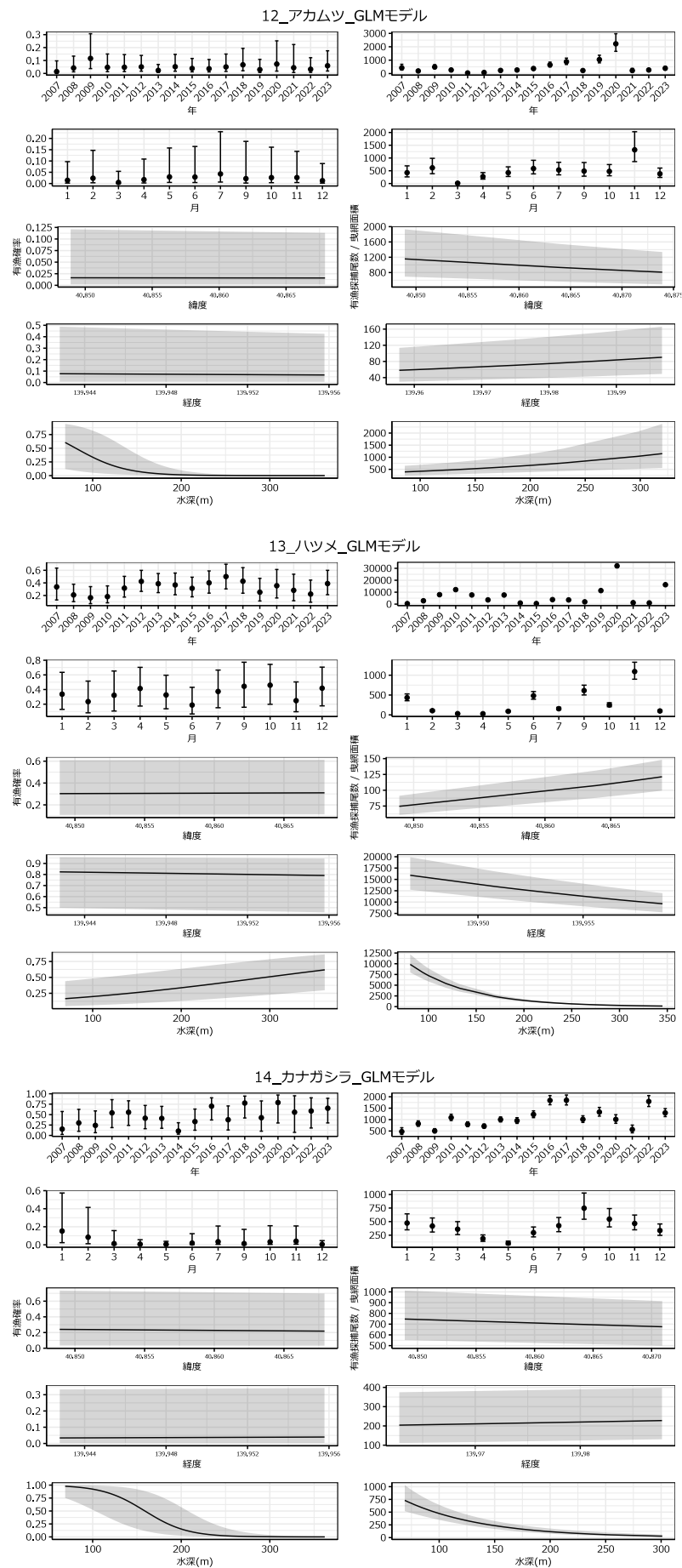


図 1-5. GLM モデルでパラメータ推定した結果

表 2. GLM モデル GAM モデルで最尤モデルに選択された説明変数

魚種	GLM 第一段階 (有漁確率モデル)						GLM 第二段階 (有漁トレンドモデル)					
	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
ハタハタ	year	month		latitude		depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
マダラ	year	month			longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
スケトウダラ	year	month		latitude		depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
ヤリイカ	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
ムシガレイ		month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth	year	month		latitude		depth
ヤナギムシガレイ		month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	
マガレイ	year	month		latitude		depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
アカガレイ		month		latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
ソウハチ	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
ヒレグロ	year	month		latitude	longitude		year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
ホッケ	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
アカムツ			latitude : longitude	latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
ハツメ		month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth
カナガシラ	year	month		latitude	longitude	depth	year	month	latitude : longitude	latitude	longitude	depth

GLMモデルによる結果について、マダラやハタハタでは近年の有漁確率及び採捕密度が低く推定され(図1)、ハタハタ日本海北部系群、マダラ本州日本海北部系群共に、近年は資源量が低水準とする結果^{21、22)}と一致した。月の効果として、冬に漁獲量が増加するハタハタでは12月に加え、3-6、7月の採捕密度も高く推定された(図1)。また、水深の効果について、深いほど有漁確率は増加し、単位面積当たりの採捕尾数は減少した。これらは、両種の漁獲対象サイズが主に深場に分布する一方で、稚魚は春から初夏にまとまって浅場に出現することを反映していると考えられた。

有漁確率モデルの最尤モデルでは、ムシガレイ、ヤナギムシガレイ、アカガレイ、アカムツ、ハツメについて年の効果が棄却されており、採捕確率に対する年変化の影響が小さいことが示された(表2)。有漁トレンドモデルに対する最尤モデルでは、ムシガレイ、ヤナギムシガレイ以外の魚種はフルモデルが採用された。

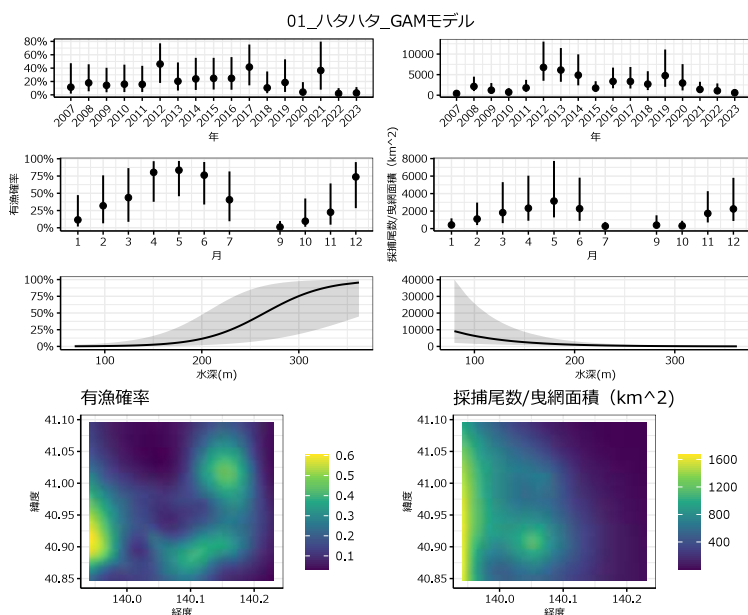


図 2-1. GAM モデルでパラメータ推定した結果

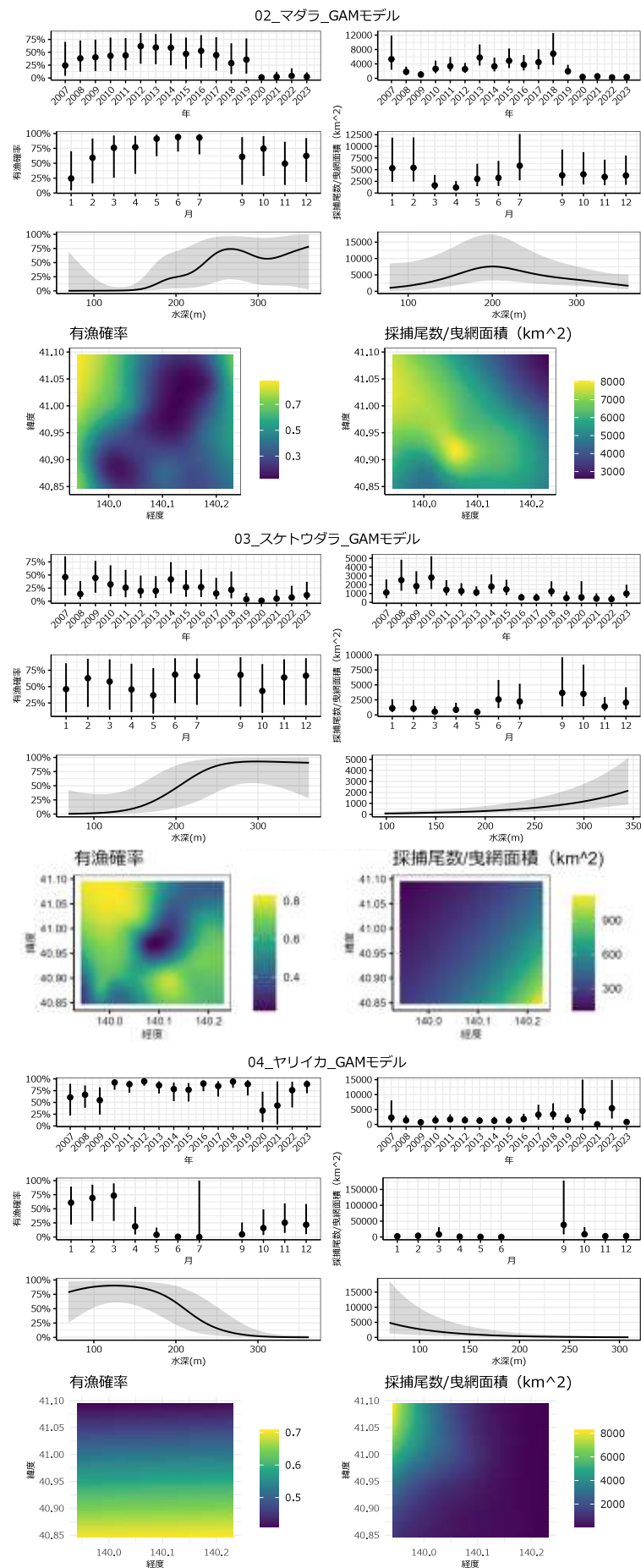


図 2-2. GAM モデルでパラメータ推定した結果

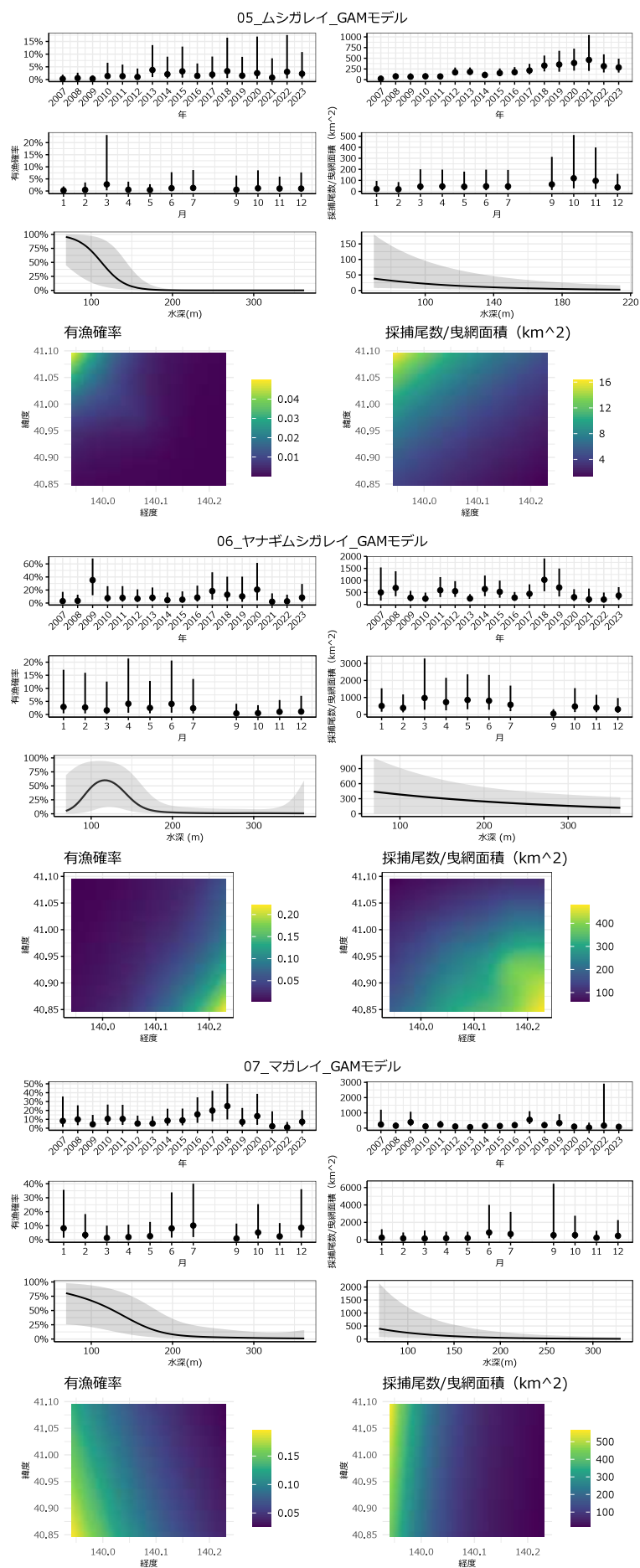


図 2-3. GAM モデルでパラメータ推定した結果

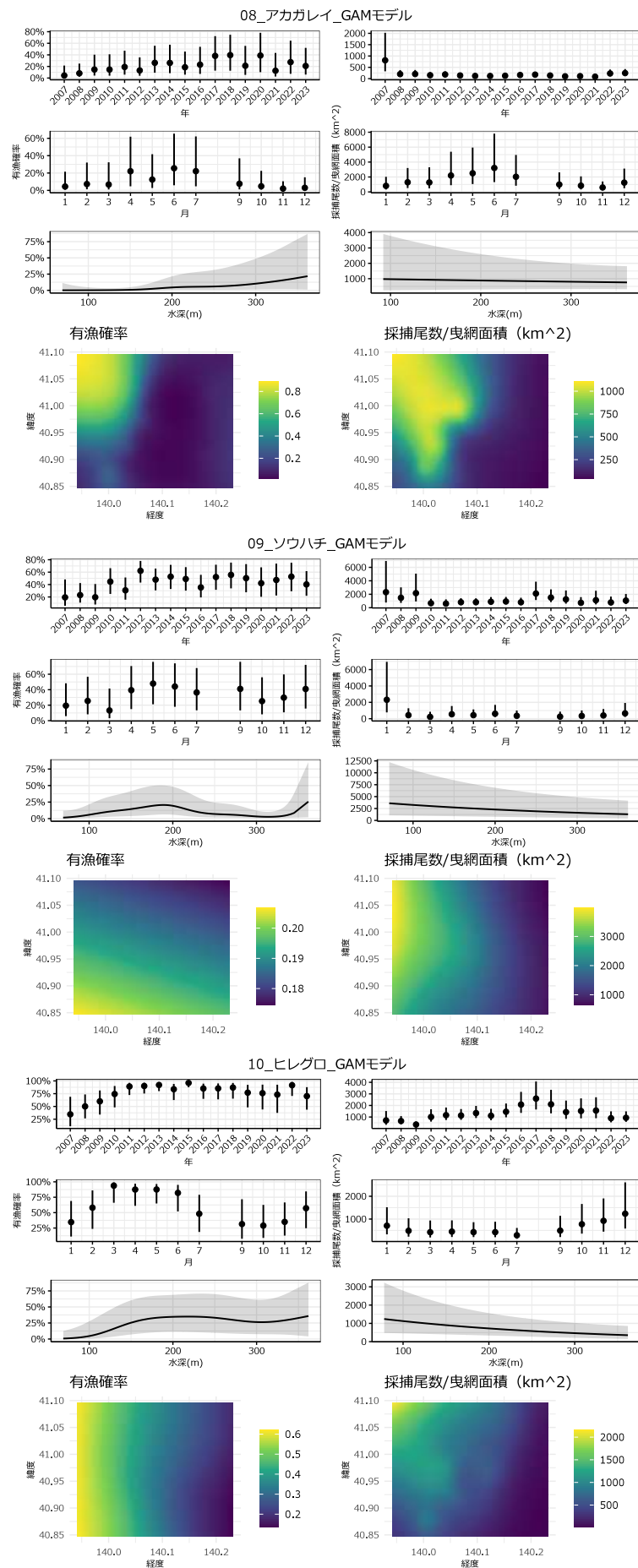


図 2-4. GAM モデルでパラメータ推定した結果

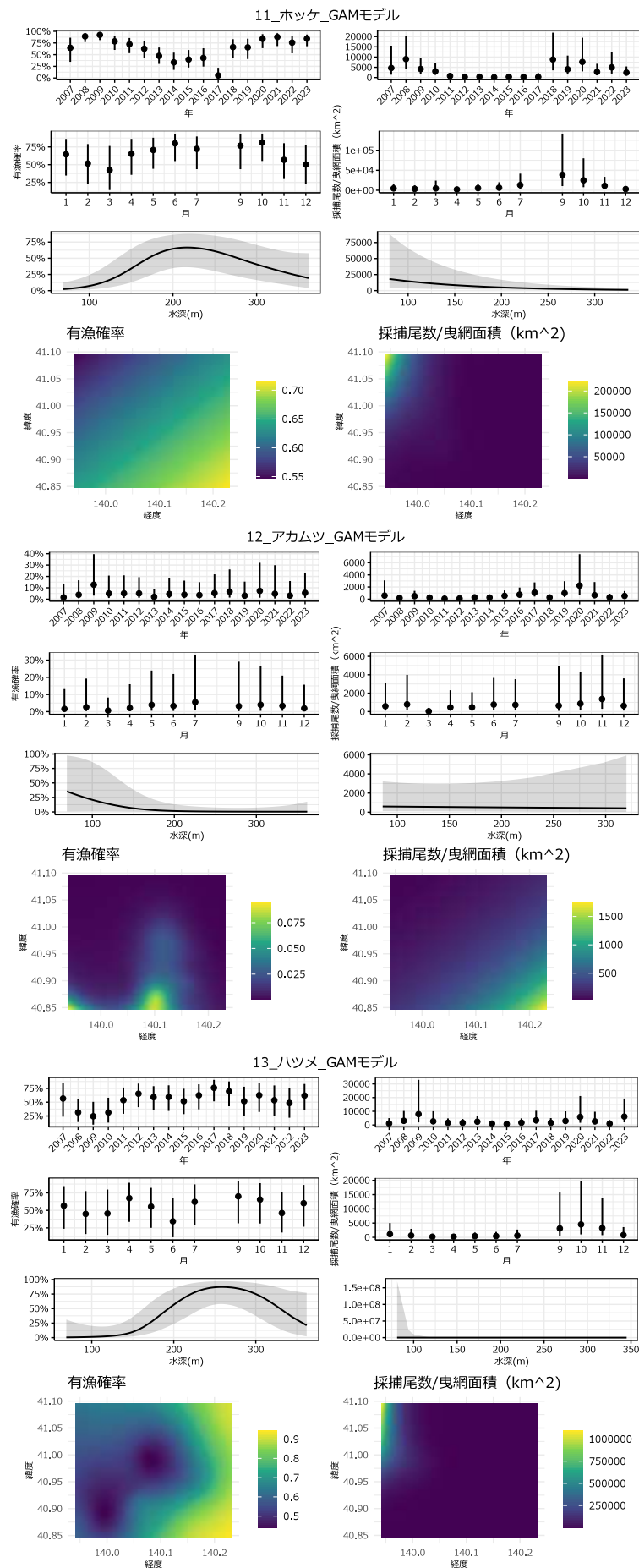


図 2-5. GAM モデルでパラメータ推定した結果

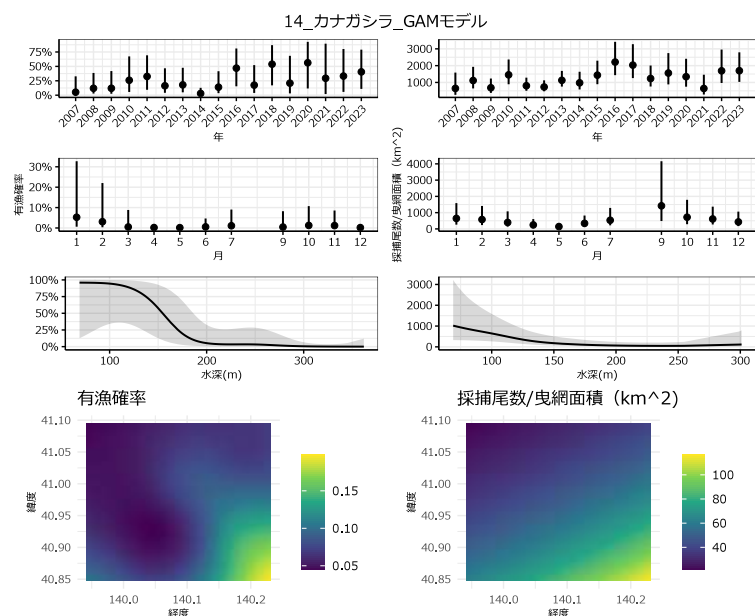


図 2-6. GAM モデルでパラメータ推定した結果

表 3. GAM モデルにおいて、AIC に基づいて選択された説明変数

	GAM 第一段階（有漁確率モデル）					GAM 第二段階（有漁トレンドモデル）				
魚種	year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	
ハタハタ	year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	
マダラ	year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	
スケトウダラ	year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month		s(depth)	
ヤリイカ	year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	
ムシガレイ		month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	
ヤナギムシガレイ	year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)		
マガレイ	year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	
アカガレイ		month	s(latitude : longitude)			year	month	s(latitude : longitude)		
ソウハチ	year	month		s(depth)		year	month		s(depth)	
ヒレグロ	year	month		s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)		
ホッケ	year	month		s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	
アカムツ			s(latitude : longitude)	s(depth)		year		s(latitude : longitude)		
ハツメ	year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	
カナガシラ	year	month		s(depth)		year	month	s(latitude : longitude)	s(depth)	

GAM モデルによる結果では、ヤリイカ、ムシガレイ、マガレイ、アカムツ、カナガシラでは水深 150m 以浅、ヒレグロは水深 150m 以深、ハタハタ、マダラ、スケトウダラでは水深 250m 以深で有漁確率が高いことが示された。また、ヤナギムシガレイでは水深 120m 付近、ホッケは水深 200m 付近、ハツメは水深 250m 付近で有漁確率のピークが、マダラでは水深 200m 付近で単位面積当たりの採捕尾数のピークが見られた。GLM に比べ、GAM モデルでは特定の水深帯における有漁確率や単位面積当たりの採捕尾数のピークを柔軟にとらえられたことが示された。月の効果について、ハタハタでは GLM モデルと同様に、3 - 7 月と 11 - 12 月の有漁確率及び単位面積当たりの採捕尾数が比較的高く推定された。緯度・経度の効果について、ハタハタ、アカガレイ、アカムツなどでは分布の偏りが見られた。

最尤推定によるモデル選択の結果、魚種によって選択される変数が異なった（表 3）。有漁確率モデルではムシガレイ、アカガレイ、アカムツでは年の効果は選択されなかったが、有漁トレンドモデルではすべての

魚種で年の効果が選択された。また、アカガレイでは、有漁確率モデル・有漁トレンドモデルのいずれも水深の効果が選択されず、漁獲への影響が小さいことが示唆された。

(2) 新規資源量指標値の探索

ノミナル CPUE、GLM モデルおよび GAM モデルから求めた標準化 CPUE について、魚種ごとに基準化した結果を図 3 に示す。

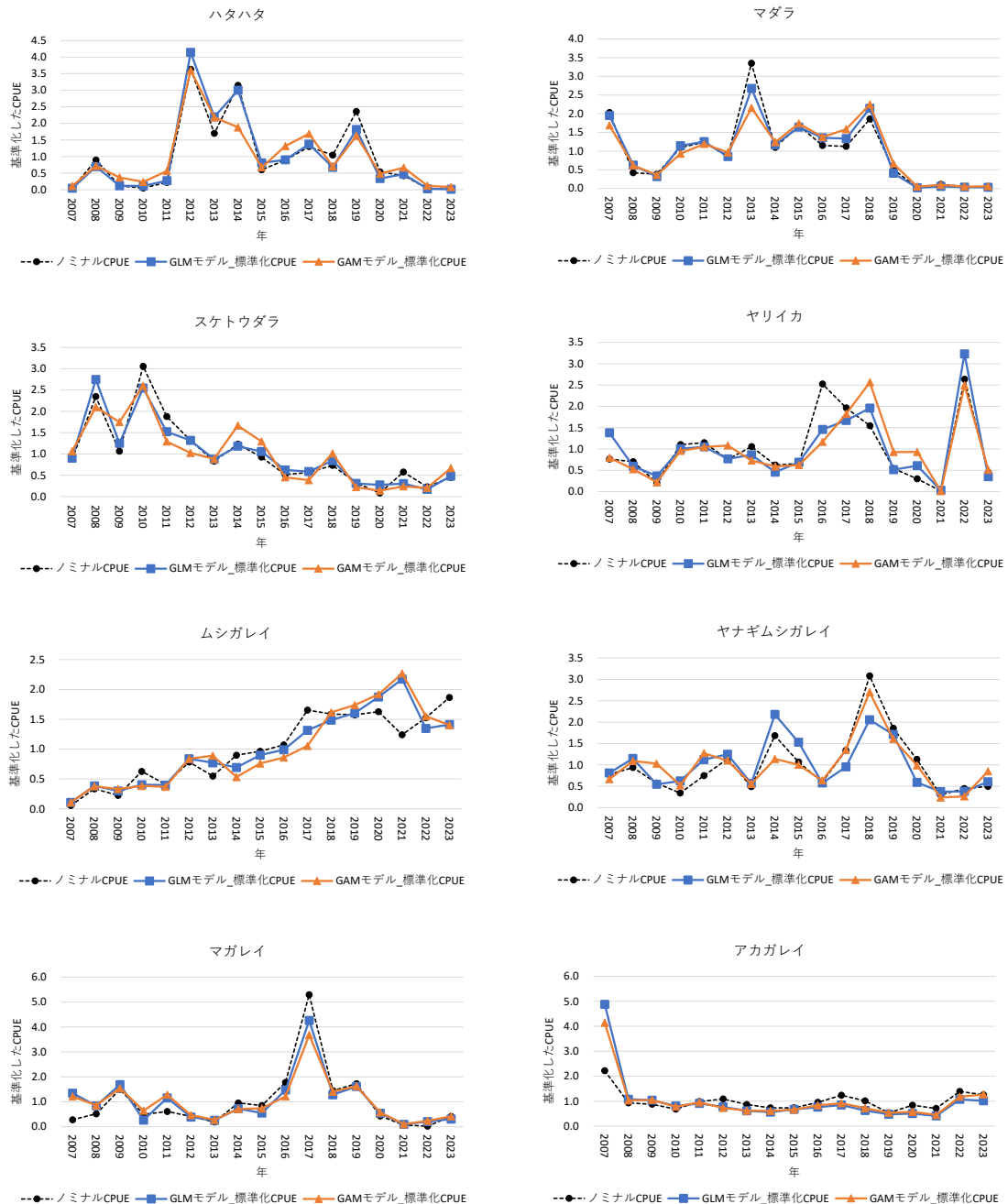


図 3-1. 基準化したノミナル CPUE および GLM、GAM モデルの標準化 CPUE の変動

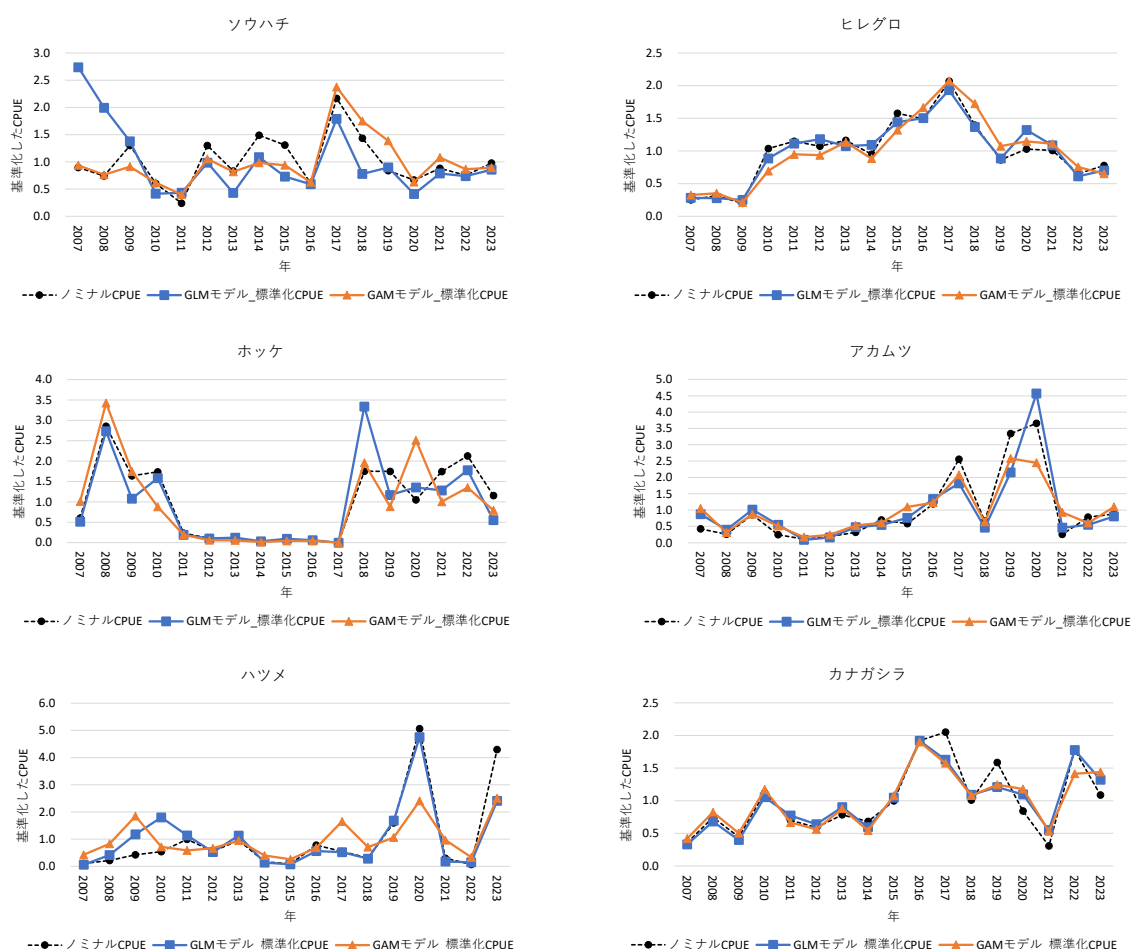


図 3-2. 標準化したノミナル CPUE および GLM、GAM モデルの標準化 CPUE の変動

ノミナル CPUE と、GLM または GAM により標準化した CPUE を比較したところ、いずれの魚種においても長期的な傾向はおおむね一致していた。一方で、短期的なピークや増減のタイミングが異なる魚種が見られた。例えば、ヤナギムシガレイ（2018 年）、マガレイ（2017 年）、ハツメ（2020、2023 年）におけるノミナル CPUE のピークは、標準化後には相対的に低く推定された。また、ホッケの GAM モデルによる標準化 CPUE は、2021 年の減少を除き、青森県周辺海域が含まれるホッケ道南系群全体の漁獲量の増減²³⁾と整合的であった。このことは、調査時の分布や努力量の偏りの影響に対し、標準化によって妥当な年変動を推定できる可能性を示唆している。

本研究で扱った試験船によるトロール調査は、比較的長期にわたるデータを記録している一方で、天候や調査スケジュールの調整により、年ごとに調査地点や回数に偏りが生じる可能性がある。漁獲量を曳網面積で除したノミナル CPUE は調査結果を直接的に反映した指標として一定の有用性があるが、調査条件の偏りの影響を受けやすい。そのため、デルタ二段階モデルを用いて CPUE を標準化することで、ゼロキャッチデータや水深・季節・空間分布などの要因を統計的に補正することにより、資源量の変動をよりの確に反映する指標となり得る。また、特異的な CPUE 値に対する背景要因の検討や、資源動向を客観的に把握する上で、標準化 CPUE は有用な情報を提供すると考えられる。

重要魚類モニタリング調査における重要魚種または頻出する魚種に絞って解析を行ったが、同調査では青森県日本海の水深 100 - 300m の海底に生息する多種多様な魚類が採捕されている。本研究で扱わなかった魚

種についても、同様の統計解析を適用することで、季節的・空間的な分布特性の解明や、資源量変動の把握に資すると期待される。

文 献

- 1) 佐藤大介 (2025) 重要魚類モニタリング調査. 2023 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 3-12.
- 2) 佐藤大介、松谷紀明、石黒智大 (2024) 重要魚類モニタリング調査. 2022 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 13-20.
- 3) 松谷紀明、佐藤大介 (2023) 重要魚類モニタリング調査. 2021 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 17-24.
- 4) 松谷紀明 (2022) 重要魚類モニタリング調査. 2020 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 41-48.
- 5) 三浦太智 (2021) 重要魚類モニタリング調査. 2019 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 13-21.
- 6) 三浦太智 (2020) 重要魚類モニタリング調査. 平成 30 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 13-21.
- 7) 三浦太智 (2019) 重要魚類モニタリング調査. 平成 29 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 6-18.
- 8) 三浦太智 (2018) 重要魚類モニタリング調査. 平成 28 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 7-26.
- 9) 松谷紀明 (2017) 重要魚類モニタリング調査. 平成 27 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 5-23.
- 10) 三浦太智 (2016) 重要魚類モニタリング調査. 平成 26 年度 (地独) 青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 6-26.
- 11) 三浦太智 (2015) 重要魚類モニタリング調査. 平成 25 年度 (地独) 青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 19-37.
- 12) 三浦太智 (2014) 重要魚類モニタリング調査. 平成 24 年度 (地独) 青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 21-45.
- 13) 三浦太智 (2013) 重要魚類モニタリング調査. 平成 23 年度 (地独) 青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 15-36.
- 14) 三浦太智 (2012) 重要魚類モニタリング調査. 平成 22 年度 (地独) 青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 18-35.
- 15) 高橋宏和 (2011) 重要魚類モニタリング調査. 平成 21 年度 (地独) 青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告. 地方独立行政法人 青森県産業技術センター水産総合研究所. 15-20.
- 16) 高橋宏和、高橋進吾 (2010) 重要魚類モニタリング調査. 平成 20 年度青森県水産総合研究センター事業報告. 青森県水産総合研究センター. 1-8.
- 17) 大水理晴 (2009) 重要魚類資源モニタリング調査～底生魚類資源動向調査～. 平成 19 年度青森県水産総合研究センター事業報告. 青森県水産総合研究センター. 94-117.
- 18) R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 19) Wood, S.N. (2011) Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation

- of semiparametric generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society (B) 73(1):3-36
- 20) Bartoń K (2023). `_MuMIn: Multi-Model Inference_`. R package version 1.47.5,
<<https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>>.
- 21) 飯田真也、八木佑太、白川北斗、佐藤信彦 (2024) 令和 5 (2023) 年度ハタハタ日本海北部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 38pp.
https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/details_2023_53.pdf
- 22) 佐久間啓、八木佑太、吉川 茜、飯田真也、白川北斗 (2024) 令和 5 (2023) 年度マダラ本州日本海北部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 62pp.
https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/details_2023_35.pdf
- 23) 森田晶子、境磨、千葉悟、濱津友紀 (2024) 令和 5 (2023) 年度ホッケ道南系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 23pp.
https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/details_2023_43.pdf