

令和元（2019）年度ヤナギムシガレイ太平洋北部の資源評価

担当水研：東北区水産研究所

参画機関：青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産資源研究所、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場

要 約

ヤナギムシガレイ太平洋北部の資源状態を VPA による資源量推定により評価した。漁獲量は周期的に変動しており、近年では 1995 年から増加して 1998 年には過去最高の 386 トンを記録した。2001 年には 133 トンまで急減したが、徐々に増加し、2009、2010 年には 200 トンを超えた。東日本大震災以降は、主漁場である福島沖の漁獲圧の低下などにより漁獲量は 2012 年には 69 トンまで減少したもののその後増加し、2016～2018 年は 237～254 トンであった。2013～2015 年級の加入量が多く、VPA による資源量推定値から、資源の水準は高位、動向は増加と判断した。現在の資源は幅広い年齢で構成されており、比較的安定している。漁獲圧を現状以上に上げなければ、資源が急激に減少することはないと考えられることから、漁獲圧の維持を資源の管理目標とし、 $F_{current}$ を管理基準とした。ABC 算定のための基本規則 1-3)-(1)に基づき、基準値を F_{limit} 、 $F_{target}=F_{limit} \times 0.8$ とし、2020 年 ABC を算出した。

管理基準	Target/Limit	2020 年 ABC (トン)	漁獲割合 (%)	F 値（現状の F 値 からの増減%）
$F_{current}$	Target	332	18	0.24 (-20%)
	Limit	401	22	0.30 (±0%)

Limit は、管理基準の下で許容される最大レベルの漁獲量である。Target は、資源変動の可能性やデータ誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、管理基準の下でより安定的な資源の増大または維持が期待される漁獲量である。 $F_{target} = \alpha \times F_{limit}$ とし、係数には 0.8 を用いた。高位水準、増加傾向にあるため、本系群の ABC 算定には規則 1-3)-(1)を用いた。F 値は各年齢の平均値である。漁獲割合は 2020 年の漁獲量/資源量である。2019 年以降の加入量は直近 10 年（2008～2017 年）の平均値とした。なお、 $F_{current}$ は 2013～2017 年の F 値の平均である。

年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2015	1,237	595	162	0.35	13
2016	1,785	953	249	0.38	14
2017	2,034	1,429	237	0.22	12
2018	1,904	1,860	254	0.21	13
2019	1,887	1,742	389	0.30	21
2020	1,834	1,486	—	—	—

2019、2020 年の値は将来予測に基づいた推定値である。各年の資源量は漁獲対象資源量を示す。年は暦年、2018 年の漁獲量は暫定値である。F 値は各年齢の平均値。

水準：高位 動向：増加

本件資源評価に使用したデータセットは以下の通り

データセット	基礎情報、関係調査等
年齢別・年別漁獲量、 漁獲尾数	県別漁獲統計（農林水産省・各県水試調べ） 太平洋北区沖合底びき網漁業漁獲成績報告書（水産庁） 体長、年齢測定データ（水研、福島県、茨城県） ・市場買い付け ・カレイ類分布調査（着底トロール、6 月） 漁獲量調査（青森～茨城（5）県） ・市場データ
資源量指数	小型底びき網漁業漁獲成績報告書（水研、青森～茨城（5）県） 太平洋北区沖合底びき網漁業漁場別漁獲統計資料（水研）
成熟年齢	月別精密測定調査（水研、福島県、茨城県） ・市場買い付け ・カレイ類分布調査（着底トロール、6 月）
自然死亡係数（M）	年当たり $M=0.250$ を仮定（田中 1960）

1. まえがき

ヤナギムシガレイは体長 40 cm ほどに達する中型の異体類で、北海道南部以南の日本各地から黄海、渤海および東シナ海の水深 400 m 以浅の砂泥域に分布している。本種の産業的価値は高く、特に抱卵している雌を天日で干したものは「子持ちヤナギ」とよばれ最高級の干物魚として利用されている。本種は太平洋北部では主に大陸棚上で底びき網によって漁獲されている。本海域における沖合底びき網漁業の漁獲量は長期的に大きく変動しており、資源量の変動も大きいと考えられる。本海域のヤナギムシガレイは平成 13（2001）年度より資源回復計画の対象魚種に指定され、平成 15（2003）年度から保護区および保護期間の設定により漁獲圧を削減し、資源を回復する措置が図られている。さらにこれまでの措置は引き続き資源管理指針および計画の下で継続して取り組まれている。

2. 生態

(1) 分布・回遊

本種は日本各地に広く分布しているものの、太平洋岸の分布は青森県尻屋崎以南であり（橋本 1955）、太平洋北部は分布の北限域にあたる（図 1）。そのため漁獲も茨城県や福島県沖（房総、常磐海区）を中心に行われており、青森県や岩手県では少ない（表 1）。福島県の標本船調査による漁獲量、CPUE（漁獲量/有漁網数）の月別変化を見ると、水深 50～200 m が主漁場となっており、CPUE は 4～11 月には水深 120～140 m で高く、12～3 月には水深 80～100 m で高い。また、漁場も冬季の方が南北に広がっていることから、季節によって若干の移動をすると考えられる（島村・五十嵐 2000）。

(2) 年齢・成長

東シナ海・黄海（西海区水産研究所 1957）、山口県沖合（中原 1969）、若狭湾（Yabuki 1989）および福島県沿岸（橋本 1955、島村・五十嵐 2000）において成長に関する情報が報告されている。水域間で成長パターンは異なるが、いずれの水域でも 5 歳前後までは急速に成長する。雌の方が雄より成長が早く、寿命も長い。福島県沿岸では、1955 年以前と 1998～1999 年に採集された個体について年齢と体長との関係が示されており（橋本 1955、島村・五十嵐 2000）、雌雄ともに 1955 年以前よりも 1998～1999 年の方が成長は早い。また、寿命は雄では 6 歳、雌では 20 歳と報告されているが（島村・五十嵐 2000）、10 歳以上まで生きる雌は稀である。

なお、近年の成長式と体長体重関係は以下のとおりである（図 2）。

雄： $SL = 305.1(1 - \exp(-0.220(t + 0.948)))$

$$BW = 5.4 \times 10^{-6} SL^{3.167}$$

雌： $SL = 337.7(1 - \exp(-0.300(t + 0.042)))$

$$BW = 2.6 \times 10^{-6} SL^{3.318}$$

ここで、SL は標準体長（mm）、t は年齢（起算日は 1 月 1 日）、BW は体重（g）である。

(3) 成熟・産卵

産卵期は 10～7 月とされているが、海域によって異なる（坂本 1984）。福島県の沿岸では、1～3 月をピークに 6 月まで続く（Narimatsu et al. 2007）。成熟個体が通常の分布水深よりもやや浅海域の南北に広い範囲で漁獲されていることから、水深 100 m 前後の広い範囲で集団繁殖場を作らずに産卵していると考えられる。成熟体長は雄で体長 120 mm 以上、雌で 150 mm 以上である。雄では満 2 歳で多くの個体が成熟し、雌では満 2 歳の一部と 3 歳魚以上のほとんどが成熟しているが、年齢別の成熟率は年代によって異なることが明らかになっている（島村・五十嵐 2000、Narimatsu et al. 2007、図 3）。

(4) 被捕食関係

餌生物は多毛類と甲殻類が主で、若齢期には甲殻類を主食とするが、成長にともない多毛類が主食になる（五十嵐 1980、五十嵐・島村 2000）。なお、被食に関する情報は報告されていない。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

太平洋北部海域において、ヤナギムシガレイのほとんどは沖合底びき網漁業（以下、「沖底」という）もしくは小型底びき網漁業（以下、「小底」という）で漁獲されている。寒流系の種ではないため、本海域の南側に位置する福島県と茨城県での漁獲が多く、北側の青森県では少ない（図 4、図 5、図 6）。

(2) 漁獲量の推移

沖合底びき網漁業漁獲成績報告書の集計値によると、漁獲量は 1970 年代前半には 210 トン以上を記録していたが、その後減少し、1980 年代後半から 1990 年代前半にかけては 18～30 トン前後と非常に低い水準で推移した（図 4、表 2）。1990 年代中盤から急激に増加し、1998～1999 年には 240 トン以上となり過去最高の漁獲を記録した。しかしながらその後減少に転じ、2001 年には 100 トンを割り込んだ。2001 年以降は徐々に増加し、2009 年は 144 トン、2010 年は 160 トンとなった。2011 年以降は震災の影響で大きく減少した（2012 年には 53 トン）が徐々に増加し、2018 年は 131 トンになっている。

全ての漁業種類の漁獲量データは 1997 年から揃っており、1997～2000 年には 288～386 トンを記録していた（図 5、表 1）。2001～2008 年には 133～179 トンでピークの半分以上で推移していたが、2009、2010 年には 220 トン前後に増加した。震災の起きた 2011 年には大きく減少したが 2013 年以降回復傾向にあり、2015 年には 162 トン、2018 年には 254 トンになっている。

(3) 漁獲努力量

沖底の有漁網数（漁船毎のヤナギムシガレイが漁獲された日の網数の合計）は 1990 年代後半にかけて急増した（図 7）。その後は 2010 年まで増減を繰り返しながら減少しているが、1990 年代前半以前と比較すると高い水準にあった。2010 年は高い水準となり、主漁場である常磐海域では 18 千網を超えたが、2011～2017 年は東日本大震災の影響で大きく減少し、回復は緩やかである（2018 年は暫定で 3.9 千網）。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1998～2018 年に茨城県と福島県で漁獲されたヤナギムシガレイを用いて、前後期別（1～6 月と 9～12 月）雌雄別の age-length key を毎年作成している。漁獲物の体長組成と age-length key をもとに年齢別漁獲尾数を求め（補足表 2-1）、1～7 歳以上の 7 年齢群についてコホート解析を行い、年別年齢別資源尾数および漁獲死亡係数 F を推定した（補足資料 1、2、補足表 2-2、2-3）。主要な漁場である金華山～房総海区における震災前後の沖底の網数を稼働状況の指標として（2018 年網数/2005～2009 年平均網数）、直近年の F の補正を行った。ヤナギムシガレイの寿命や成長には雌雄差があるため、資源量は以下のように求めた。6 歳以下については、それぞれの年齢における雌雄の平均体重の平均値を年齢別体重とし、7 歳以上では雌の体重を年齢別の体重とした。先に求めた年齢別資源尾数に年齢別の体重を乗じたものを年齢別の資源量とした（補足表 2-4）。また、資源量を基に資源水準と動向

を判断した。

(2) 資源量指標値の推移

主要な漁場である金華山、常磐および房総海区の沖底の CPUE を図 8 および図 9 に示した。1973 年以降、CPUE の増減は漁獲量の増減（図 4）と類似しており、漁獲が少ない年には低い傾向が認められる。各海区の沖底の CPUE は 2009～2012 年に比較的高かったが 2013 年および 2014 年にはやや低くなっていた。しかし 2015～2018 年には高い値となっている（図 8）。金華山から房総海区において本種の重要性は高く、本種を主要な対象とした操業も行われている（島村・五十嵐 2000）。そのため、この海区の CPUE は資源状態を表す指標として有効であると考えられる。ただし、震災以降には漁獲の中心である常磐海区での漁業活動が限定的であるため、現在の指標としての精度は震災以前に比べると低下していると考えられる。また、年、月、海域および狙い操業の影響を除去するため、沖底の CPUE の標準化を行った結果を参考資料として掲載した（補足資料 4）。

(3) 漁獲物の体長組成

漁獲物の全長組成の経年変化を図 10 に示した。近年では、2011～2013 年には 10 cm 台の小型個体はほとんど見られていない。その一方で、2015 年および 2016 年の上半期には数多く見られていた。これらは、2013 年および 2014 年生まれの個体が漁獲加入し、大量に漁獲されたと考えられる。2017 年上半期になると小型魚の体長組成のピークは 20 cm となっており、2016 年に比べるとやや大きくなっていた。また、2018 年にはピークは同様に 20 cm であるが、17 cm 以下の個体が非常に少なくなっており、さらに下半期の体長組成のピークも 2015～2017 年と比べると大きくなっていた。これらは、全長 20 cm を超える個体が漁獲の中心になっており、以前と比べて小型魚の漁獲が少なくなっていることを示している。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

VPA により求めた F 値の推移を図 11 に示した。2001～2008 年には 0.29～0.45 で安定していたが、2009 年、2010 年にはそれぞれ 0.65、0.64 とやや高くなった。2011 年以降は 0.21～0.43 となっている。なお、 $F_{current}$ （2013～2017 年の F 値の平均）は 0.30 であった。資源量は 1998 年の 1,205 トンから減少し、2001～2014 年は 434～906 トンで推移していたが、2015 年は 1,237 トン、2016 年は 1,785 トンと増加の傾向が認められ、2018 年には 1,904 トンになっている（図 12、補足表 2-4）。漁獲割合は 2001～2010 年には 22～37% で推移していたが、2011 年以降には震災の影響で減少し、2018 年には 13% になっている（図 12）。また、加入量（1 歳魚）は 1998～2013 年には 35～135 トンで推移していたが、2014～2016 年には 293～427 トンと非常に高い値になり、2017 年も 126 トンと比較的高い値になった（図 13、補足表 2-4）。ただし、これまでのところ、2018 年の加入量は少ないと考えられるため、今後の加入動向に注意が必要である。

(5) 再生産関係

1998 年以降の再生産関係には明瞭な相関関係は認められなかった（図 14）ことから、再

生産関係を将来の加入量予測には用いていない（試算は補足資料 3）。また、2013～2015 年級の再生産成功率は高かったため、近年の親魚量は多くなっているが、2016 年級の再生産成功率はあまり高くない（図 15）。

（6）Blimit の設定

明瞭な再生産関係が認められていないこと（図 14）、1997 年以前に連続して発生した卓越年級は非常に少ない親から発生したと考えられること、卓越年級を発生させることができる最低親魚量が不明瞭であることから、Blimit は設定していない。

（7）資源の水準・動向

VPA で求めた資源量は 2009 および 2010 年には高かったが、2011～2013 年にはやや低くなった（図 13）。2014 年から増加傾向が見られ、2016 年には 1,700 トンを超え非常に多くなった。2018 年は 1,904 トンとなっており、2017 年よりも少ないものの、最近 20 年間の中では 2 番目に高い水準である。資源量を水準の判断基準とし、資源量の平均値よりも 30% 以上多い場合を高位水準、30% 以上少ない場合を低位水準とした。その結果、資源量は高位と中位の境界を上回ることから、資源水準は高位と判断した。また、最近 5 年間（2014～2018 年）の資源量は増加していたことから、動向は増加と判断した。

（8）今後の加入量の見積もり

再生産関係が明瞭ではないこと、過去に親魚量が多い状況から資源が漸減した経験から、親魚量を用いた加入量は推定していない（試算は補足資料 3）。なお、近年は 1 歳魚に対する漁獲圧が低くなっているため、将来予測では直近年を除く最近 10 年間（2008～2017 年）の満 1 歳魚の加入尾数の平均値を用いた（7,106 千尾）。

（9）生物学的管理基準（漁獲係数）と現状の漁獲圧の関係

1998～2017 年の漁獲係数 F 値は 0.22～0.65 で推移しており（図 11）、沖底の CPUE の変化（図 9）と F 値の変化傾向は震災以前には類似していた。また、漁獲割合は 2001～2008 年に安定しており、2009、2010 年に増加したが、震災以降には低い値で推移している（図 12）。

直近 5 年間の漁獲パターンにもとづく YPR 曲線と SPR 曲線を図 16 に示した。1 歳の途中から漁獲され始める漁業実態をふまえ、漁獲開始年齢は 1 歳とした。2013～2017 年の漁獲圧の平均値（ F_{current} ）は $F_{30\%SPR}$ よりも低く（47.8%SPR）、震災前の漁獲圧（ $F_{2006-2010}$ ）や $F_{0.1}$ よりも低い。

5. 2020 年 ABC の算定

（1）資源評価のまとめ

VPA による解析では、ヤナギムシガレイの資源量は 1990 年代後半に多かったが、2000～2001 年にかけて急減した（図 13）。その後の資源は 2003～2009 年に安定した加入があったこともあり、比較的堅調に推移した。震災以降、資源量はやや減少したが、2013～2015 年級が多かったこともあり、回復している。2018 年の資源量は非常に多く、また、2014 年

以降増加していることから、資源水準は高位、動向は増加と判断した。近年の資源は幅広い年齢層で構成されているのが特徴となっており、2018 年も 3～5 歳魚が多い資源構造となっている。引き続き加入を促進するためにも、漁獲圧を現状程度に抑え、親魚量を確保することが重要である。

(2) ABC の算定

2020 年の ABC 算定は以下のように行った。

2003 年以降毎年行っている年齢査定の結果、10 歳以上の個体は非常に少なかったことから、通常の寿命 (λ) を 10 歳とし、自然死亡係数 M を田内・田中の式 (田中 1960) より $2.5/\lambda=0.25$ とした。

2019 年以降の年齢別の F の比率 (選択率) は 2013～2017 年の平均値と同じとし、2019 年の漁獲は $F_{current}$ を仮定した。

体重は年別年齢別雌雄別に 5～6 月に採集した個体の平均値を用いた。成熟割合は 2 歳魚で 0.3、3 歳魚以上で 1 とした。また、これまでの漁獲物の体長組成や年齢査定結果から漁獲は 1 歳から始まるとし、2019 年以降の加入量は上述のように 2008～2017 年の満 1 歳魚の加入尾数の平均値とした (7,106 千尾)。

この条件の漁獲が 2019 年末まで続くと仮定すると、2020 年当初の資源量は 1,834 トンとなる。現在の資源は幅広い年齢の個体から構成されており、近年には大きな加入もあった。そのため、現状の漁獲圧を維持できれば、資源が急激に減少することはないと考えられる。以上のことから、漁獲圧の維持を管理目標とし、 $F_{current}$ を基準値とした。水準と動向は高位、増加と判断されるので、ABC 算定のための規則 1-3)-(1)に基づき F_{limit} =基準値で ABC を算定した。

先述のように基準値を $F_{current}$ とし、不確実性を考慮して安全率 α を標準値の 0.8 とした。その値を F_{limit} に乗じたものを F_{target} とし、このときの漁獲量を ABC_{target} とした。その結果、 $ABC_{limit}=401$ トン、 $ABC_{target}=332$ トンと算出された。

管理基準	Target/Limit	2020 年 ABC (トン)	漁獲割合 (%)	F 値 (現状の F 値 からの増減%)
$F_{current}$	Target	332	18	0.24 (-20%)
	Limit	401	22	0.30 (±0%)

Limit は、管理基準の下で許容される最大レベルの漁獲量である。Target は、資源変動の可能性やデータ誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、管理基準の下でより安定的な資源の増大または維持が期待される漁獲量である。 $F_{target} = \alpha \times F_{limit}$ とし、係数には 0.8 を用いた。高位水準、増加傾向にあるため、本系群の ABC 算定には規則 1-3)-(1)を用いた。F 値は各年齢の平均値である。漁獲割合は 2020 年の漁獲量/資源量である。2019 年以降の加入量は直近 10 年 (2008～2017 年) の平均値とした。なお、 $F_{current}$ は 2013～2017 年の F 値の平均である。

(3) ABC の評価

参考資料として、2019 年以降の管理基準として $F_{0.1}$ 、 $F_{current}$ ($F_{2013-2017}$)、 $0.8F_{current}$ 、 $F_{30\%SPR}$ 、 $0.8F_{30\%SPR}$ 、 $F_{2006-2010}$ について検討した。 $F_{current}$ を基準値とすることにより、2020 年以降の漁獲量、資源量および親魚量は 2020 年が最も高く、その後減少する。これは、近年では 2014～2015 年の加入量（1 歳魚）が多かった一方で、2019 年以降にはそれよりも少ない過去 10 年の平均の加入量を与えているためである。ただし、そのような加入を与えても 2020 年以降の減少は緩やかで、2025 年の資源量は 1,471 トンとなり、高位水準を維持する。

その他の管理基準では、いずれの基準を用いても資源量および漁獲量のピークは 2020 年となり、その後は減少する（図 17）。 $F_{30\%SPR}$ で漁獲すると、当面の漁獲量は多くなるが、資源量、漁獲量の減少幅が大きく、2025 年の資源量、漁獲量はそれぞれ 1,160 トン、287 トンになる。

管理基準	F 値	漁獲量（トン）							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
$0.8F_{2013-2017}$	0.24	254	389	332	347	316	264	245	250
$F_{2013-2017}$	0.30	254	389	401	393	340	279	261	267
$0.8F_{30\%SPR}$	0.41	254	389	519	452	359	289	276	283
$F_{2006-2010}$	0.48	254	389	595	515	403	309	271	261
$F_{30\%SPR}$	0.51	254	389	615	482	359	288	280	287
$F_{0.1}$	0.57	254	389	666	492	355	286	280	286
管理基準	F 値	資源量（トン）							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
$0.8F_{2013-2017}$	0.24	1,904	1,887	1,834	1,819	1,754	1,649	1,582	1,598
$F_{2013-2017}$	0.30	1,904	1,887	1,834	1,736	1,619	1,506	1,454	1,471
$0.8F_{30\%SPR}$	0.41	1,904	1,887	1,834	1,596	1,413	1,302	1,271	1,287
$F_{2006-2010}$	0.48	1,904	1,887	1,834	1,492	1,211	1,011	919	894
$F_{30\%SPR}$	0.51	1,904	1,887	1,834	1,482	1,263	1,164	1,146	1,160
$F_{0.1}$	0.57	1,904	1,887	1,834	1,422	1,191	1,099	1,087	1,099
管理基準	F 値	親魚量（トン）							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
$0.8F_{2013-2017}$	0.24	1,860	1,742	1,486	1,490	1,450	1,340	1,264	1,279
$F_{2013-2017}$	0.30	1,860	1,742	1,486	1,408	1,314	1,198	1,137	1,154
$0.8F_{30\%SPR}$	0.41	1,860	1,742	1,486	1,271	1,107	993	955	972
$F_{2006-2010}$	0.48	1,860	1,742	1,486	1,177	912	710	614	589
$F_{30\%SPR}$	0.51	1,860	1,742	1,486	1,159	957	854	832	846
$F_{0.1}$	0.57	1,860	1,742	1,486	1,100	884	790	774	786

ここでの F 値は各年齢の平均値である。また、 $F_{2006-2010}$ の年齢別の選択率は当時のものを用いている。

(4) ABC の再評価

昨年度評価以降追加されたデータセット	修正・更新された数値
2017 年漁獲量確定値 2018 年漁獲量 2018 年年齢別・年別漁獲尾数 過去に遡及した年別・年齢別漁獲尾数の見直し	2017 年漁獲量の確定 2018 年漁獲量の暫定値 2018 年までの年齢別資源尾数、漁獲係数

評価対象年 (当初・再評価)	管理 基準	F 値	資源量 (トン)	ABCLimit (トン)	ABCtarget (トン)	漁獲量 (トン) (実際の F 値)
2018 年 (当初)	F30%SPR	0.48	1,236	331	275	
2018 年(2018 年 再評価)	F30%SPR	0.48	1,782	544	454	
2018 年(2019 年 再評価)	F30%SPR	0.48	1,904	598	498	254 (0.30)
2019 年 (当初)	Fcurrent	0.32	1,655	384	318	
2019 年(2019 年 再評価)	Fcurrent	0.32	1,887	382	314	

F 値は各年齢の平均値。漁獲量は暫定値。なお、2018 年 (2019 年再評価) の実際の F 値は、2018 年当時の年齢別の選択率に基づく値である。

2019 年再評価で 2018 年および 2019 年の資源量は若干増加した。これは、2018 年評価では見られなかった 2017 年級がある程度漁獲されたことにより、同年級の資源状況の実態が、再評価によって明らかになったことによる影響が大きい。なお、2019 年に当初と比べて再評価で資源量が多いにもかかわらず ABC が少ないのは、年齢別の選択率が異なるためである。

6. ABC 以外の管理方策への提言

震災以前の 10 年間は比較的加入が安定しており、そのため資源量も安定していた。震災以降には加入が大きく変動しており、2014~2016 年には非常に多くの 1 歳魚が見られた一方で、2018 年には 1 歳魚は少なかった。本資源は 1980 年代後半から 1990 年代前半に非常に低い水準の資源状態を経験している。このような状態になることを避けるためにも、加入状況が悪いと認められた場合に若齢魚の漁獲を控え、親魚に成長するまで保護する等の努力が必要となるため、今後の加入動向には注意を払う必要がある。

7. 引用文献

五十嵐敏 (1980) ヤナギムシガレイの胃中にみられる底生動物について (短報). 福島水試研報, 6, 91-92.

- 五十嵐敏・島村信也 (2000) 福島県海域におけるヤナギムシガレイの食性. 福島水試研報, **9**, 53-58.
- 橋本良平 (1955) ヤナギムシガレイの年令に関する基礎的研究. 東北水研研報, **4**, 156-164.
- 中原民男 (1969) 山口県沖合大陸棚に分布する重要底魚類の漁業生物特性. 山口外海水試研報, **11**, 1-70.
- Narimatsu, Y., A. Yamanobe and M. Takahashi (2007) Reproductive cycle, age and body size at maturity and fecundity of female willow flounder (*Tanakius kitaharai*). Fish. Sci., **73**, 55-62.
- 坂本一男 (1984) ヤナギムシガレイ. 「日本産魚類大図鑑 (解説)」益田一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝彌・吉野哲夫編, 東海大学出版会, 東京, 339.
- 西海区水産研究所 (1957) ヤナギムシガレイ. 東海・黄海における底魚資源の研究, **4**, 50-55.
- 島村信也・五十嵐敏 (2000) 福島県沿岸で漁獲されたヤナギムシガレイについて. 福島水試研報, **9**, 29-52.
- 田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.
- Yabuki, K. (1989) Age determination of yanagimushigarei *Tanakius kitaharai* (Pleuronectidae) from otoliths in the Sea of Japan off Kyoto Prefecture. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **55**, 1331-1338.

(執筆: 成松庸二、柴田泰宙、鈴木勇人、森川英祐、時岡 駿、永尾次郎)

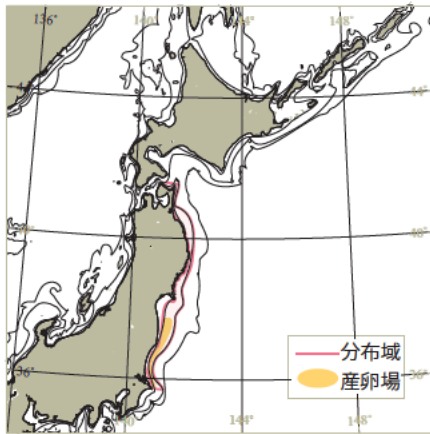


図1. 太平洋北部におけるヤナギムシガレイの分布

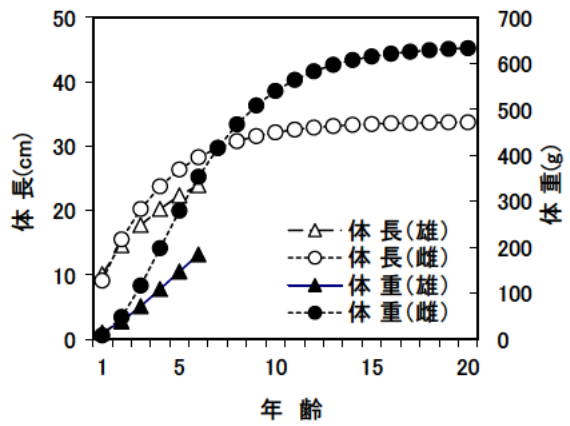


図2. 太平洋北部におけるヤナギムシガレイの成長

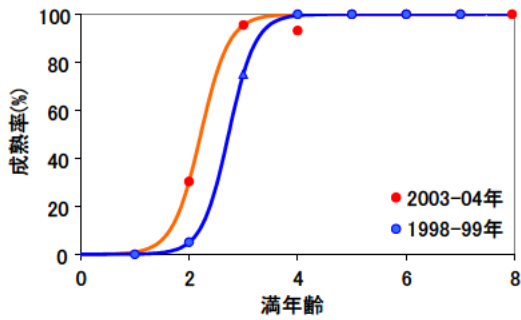


図3. 年齢と成熟率の関係

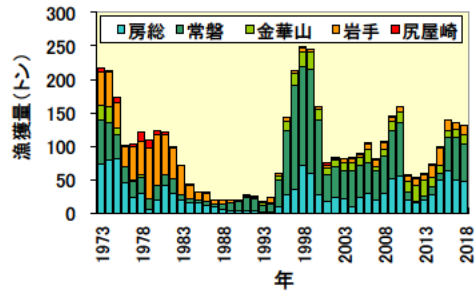


図4. 太平洋北部の沖底による漁獲量の推移 2018年は暫定値。

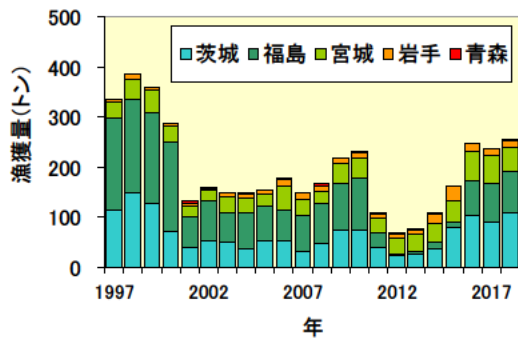


図5. 全漁業種による漁獲量の推移 2018年は暫定値。

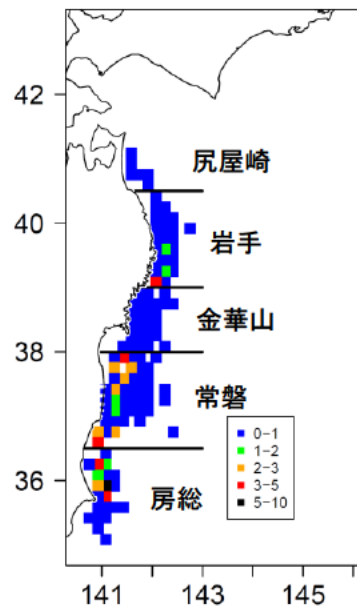


図6. 沖底による2017年の漁獲量 (トン) の分布

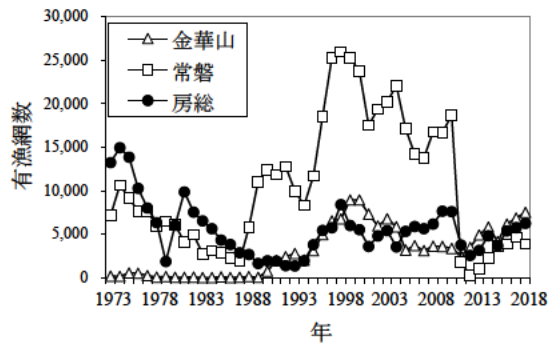


図7. 沖底の漁業努力量の推移
2018年は暫定値。

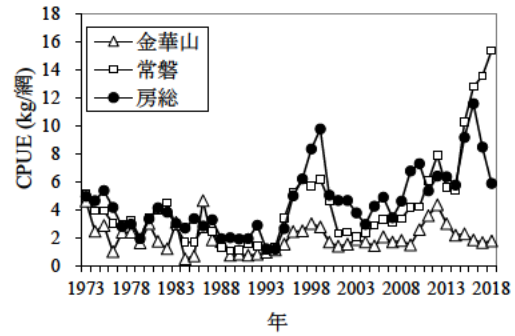


図8. 沖底の海区別CPUE
2018年は暫定値。

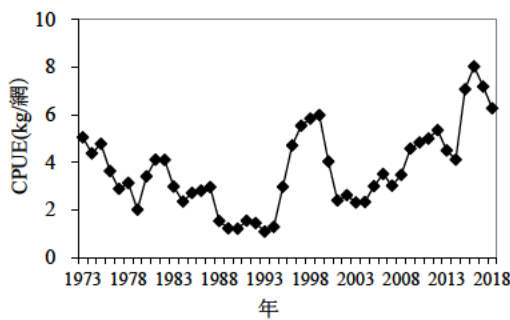


図9. 金華山～房総海区の沖底のCPUE

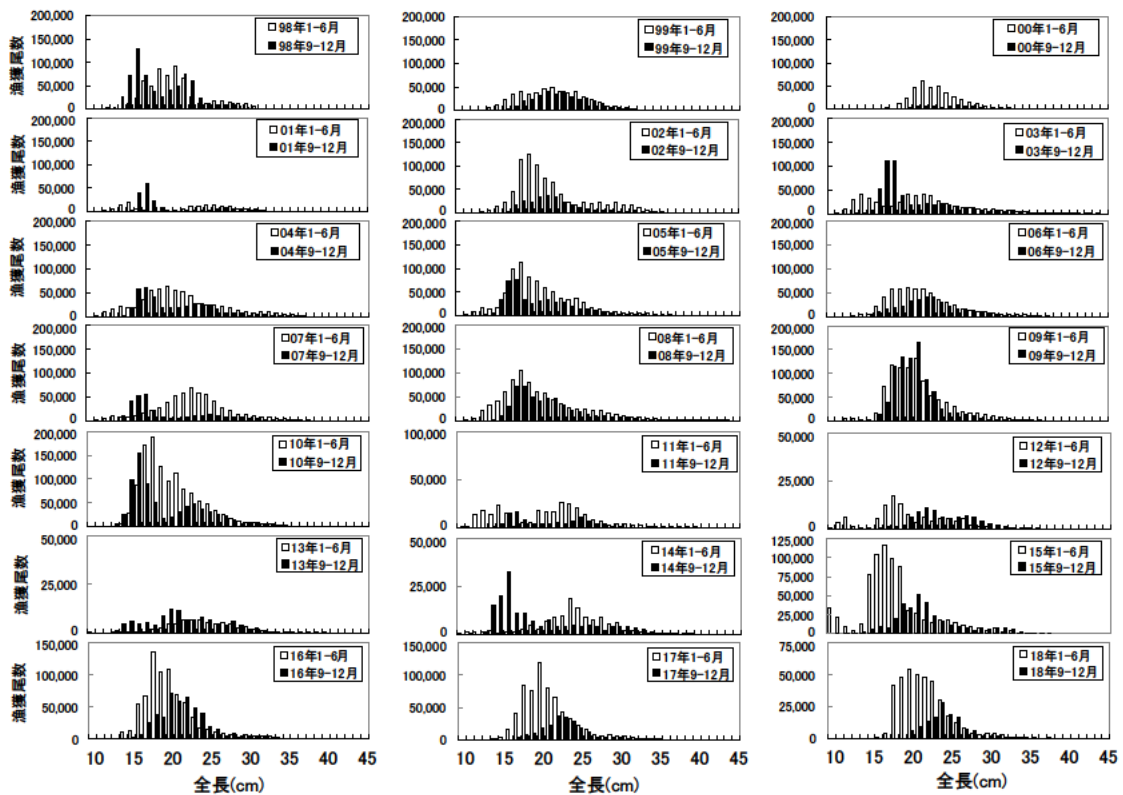


図10. ヤナギムシガレイ漁獲物の年別前後期別の全長組成

1998～2001、2011～2018年は茨城県水揚げ分で、2002～2010年は福島県水揚げ分。

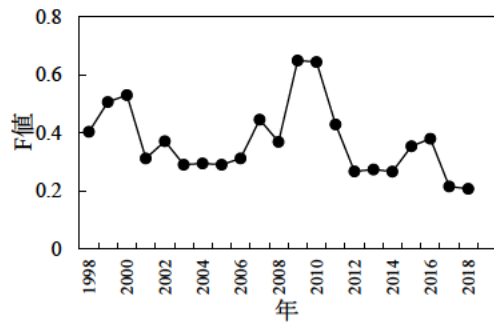


図11. F値（各年齢平均）の推移

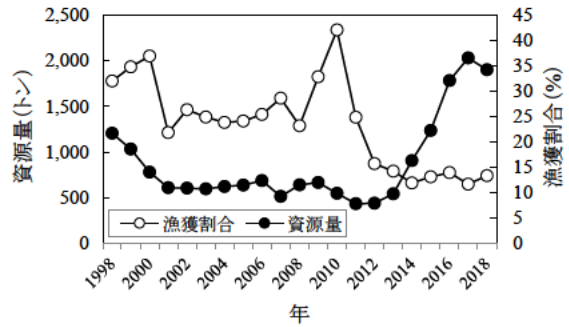


図12. 資源量と漁獲割合の推移

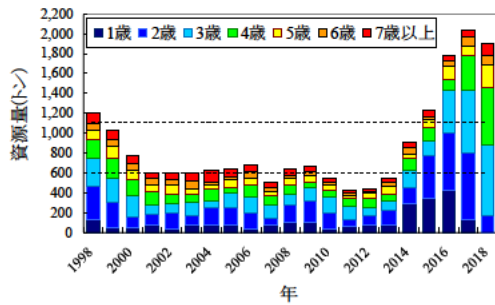


図13. 年齢別資源量の推移
横線は水準の境界を示す。

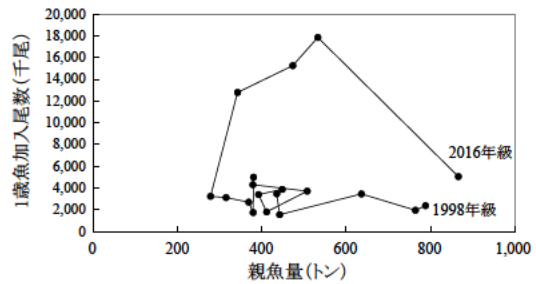


図14. 再生産関係

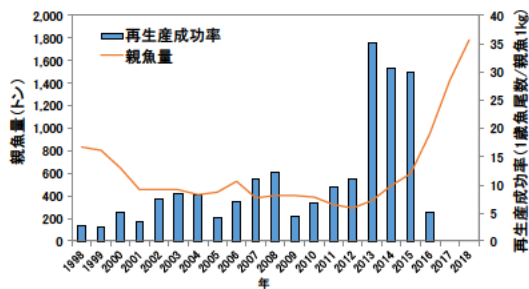


図15. 親魚量と再生産成功率の推移

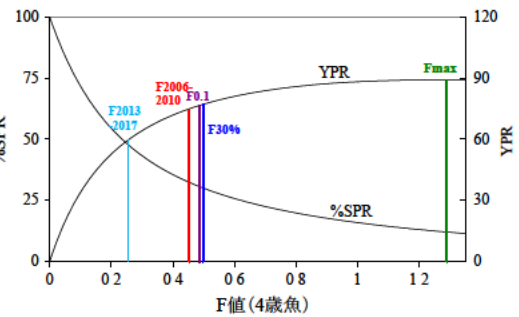


図16. 漁獲係数 (F) と%SPRおよびYPR

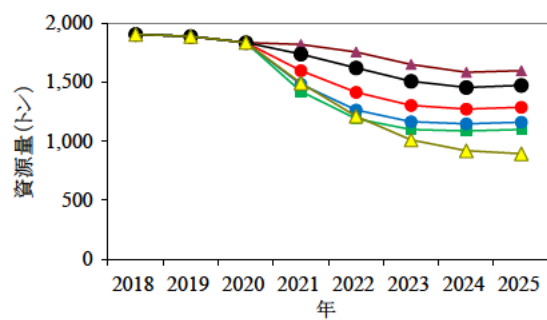
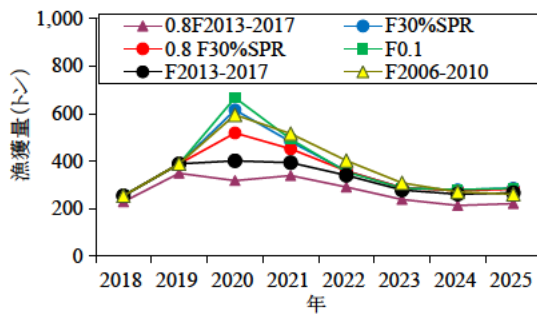


図17. さまざまな管理基準に基づく漁獲量（左図）と資源量（右図）の予測

表1. 県別漁業種類別のヤナギムシガレイの漁獲量（トン）

県名	漁業種	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
青森	沖底	13	04	00	00	00	40	14	06	15	15	22	14	38	06	05	28	18	18	23	01	01	01	01
	小底	05	03	05	02	03	04	01	01	05	05	0	01	07	03	04	02	01	01	0	0	0	0	0
	刺網	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	延縄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	定置	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
岩手	沖底	-	41	76	39	43	39	24	62	77	54	91	107	88	58	89	74	86	81	169	266	140	104	123
	小底	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	刺網	-	06	06	05	05	11	14	03	08	10	34	17	26	37	29	07	10	08	15	32	26	22	19
	延縄	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0	01	0	0	0	0	0
	定置	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	その他	-	01	02	09	07	03	04	10	04	06	06	03	01	01	0	0	0	0	04	02	0	0	0
宮城	沖底	122	165	205	250	153	104	94	121	113	105	188	61	99	154	156	166	239	238	141	114	120	116	141
	小底	128	152	199	185	136	89	93	170	158	104	105	109	117	131	91	60	54	64	205	271	429	434	304
	刺網	02	03	04	04	12	08	30	12	17	23	199	151	12	137	148	64	32	40	04	07	06	04	05
	延縄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	定置	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	その他	01	01	02	04	04	25	07	16	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	21	31	28	19	21
福島	沖底	969	1558	1489	1567	1108	410	470	425	528	495	470	433	570	703	791	112	21	62	120	100	500	638	559
	小底	145	268	297	222	360	130	213	158	163	167	139	258	219	212	227	110	0	0	0	0	204	144	272
	刺網	04	19	88	31	315	59	98	12	23	24	07	18	03	09	13	64	0	0	0	0	0	0	0
	延縄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	定置	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茨城	沖底	273	359	704	589	282	169	226	206	106	229	290	196	288	520	557	204	165	202	280	503	630	490	483
	小底	520	770	780	690	450	240	310	285	268	306	236	125	196	221	195	193	63	59	97	292	403	401	616
	刺網	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	延縄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	定置	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	その他	10	10	0	0	0	0	0	0	01	02	0	0	0	03	0	0	0	0	0	01	0	0	0
小計	沖底	1437	2127	2475	2445	1586	762	827	819	839	897	1061	811	1083	1442	1598	584	529	601	733	984	1391	1349	1307
	小底	-	1193	1281	1099	949	463	617	614	594	582	480	493	539	567	517	365	118	124	302	563	1036	979	1192
	刺網	-	28	98	40	332	78	142	27	48	57	240	186	41	183	190	135	42	48	19	39	32	26	24
	延縄	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	定置	-	0	0	0	0	0	0	0	01	03	0	02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	その他	-	12	04	13	12	28	11	27	06	21	06	03	04	01	0	0	0	0	25	34	28	19	21
計	-	336	386	360	288	133	160	149	149	156	179	149	167	219	231	108	69	77	108	162	249	237	254	

各県水試調べ。2017年以前の沖底の小計は漁場別漁獲統計資料による。

2010年の岩手、宮城はデータ消失のため、沖底以外の漁業は過去5年間の他県との漁獲量比から推定。

各県の沖底漁獲量は小海区別の漁獲量を適用（例：宮城=金華山海区、福島=常磐海区）。

2016～2018年福島県の小底の漁獲量は、福島県の底びき網漁獲量の合計から沖底統計から求めた沖底の漁獲量を引いた値。

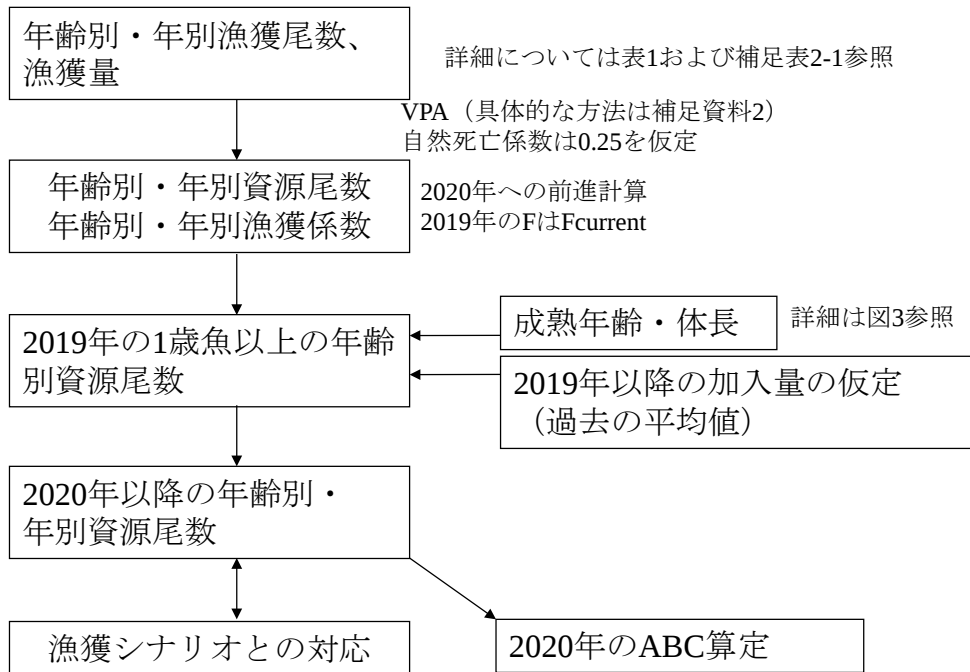
2018年は暫定値。

表2. 沖底によるヤナギムシガレイの漁獲量

年	房総	常磐	金華山	岩手	尻屋崎	計
1973	74	66	22	49	6	217
1974	80	55	24	51	2	212
1975	81	36	10	39	6	172
1976	46	23	1	30	2	102
1977	23	25	1	50	5	104
1978	29	24	4	51	14	122
1979	6	15	1	75	13	110
1980	20	21	0	77	5	124
1981	41	16	0	60	3	121
1982	29	22	0	45	4	100
1983	20	8	0	44	1	72
1984	15	5	0	21	1	43
1985	15	5	0	11	1	32
1986	11	6	0	11	2	31
1987	10	5	0	5	0	19
1988	5	8	0	6	1	20
1989	3	12	0	3	0	19
1990	4	14	1	2	0	20
1991	4	19	2	2	0	27
1992	4	18	2	1	0	25
1993	2	11	3	2	0	18
1994	2	11	2	7	0	24
1995	10	40	5	4	0	60
1996	27	97	12	6	1	144
1997	36	156	17	4	0	213
1998	70	149	21	8	0	247
1999	59	157	25	4	0	245
2000	28	111	15	4	0	159
2001	17	41	10	4	4	76
2002	23	47	9	2	1	83
2003	21	43	12	6	1	82
2004	11	53	11	8	1	84
2005	23	49	11	5	2	90
2006	29	47	19	9	2	106
2007	20	43	6	11	1	81
2008	29	57	10	9	4	108
2009	52	70	15	6	1	144
2010	56	79	16	9	0	160
2011	20	11	17	7	3	58
2012	17	2	24	9	2	53
2013	20	6	24	8	2	60
2014	28	12	14	17	2	73
2015	50	10	11	27	0	98
2016	63	50	12	14	0	139
2017	49	64	12	10	0	135
2018	48	56	14	12	0	131
2018沖底	37	60	14	5	0	116

上の2018年は各県水試調べ、下は沖合底びき網漁業漁業統計資料。

補足資料 1 資源評価の流れ



補足資料 2 資源計算方法

2002～2010 年は福島県、2011～2015 年、2017 年および 2018 年は茨城県、2016 年は福島県と茨城県で漁獲されたヤナギムシガレイの精密測定結果と耳石の年齢査定結果から age-length key を作成した。age-length key の作成は 1～6 月および 9～12 月の二期に分けて毎年行った (7、8 月は沖底、小底の休漁期)。age-length key と漁獲物全体の全長組成から年齢別漁獲尾数を求めた。ヤナギムシガレイの成長、体重および寿命には雌雄差があるため、雌雄別の age-length key を用いて年齢分解を行った。1998～2001 年については 2002～2010 年すべてのサンプルから求めた上下半期別雌雄別の age-length key をもとに漁獲物の全長組成を分解した (補足表 2-1)。なお、6 歳以下、全長 30 cm 以下の雌雄比は 1:1 とし、7 歳以上、全長 31 cm 以上はすべて雌とした。また、年級間で成長差があるため、毎年 5～6 月に採集された個体から、年別年齢別雌雄別の体重を求めた。本種は 1 歳の途中から漁獲され始めるため、計算は 1 歳以上を対象とし、7 歳以上の個体は少ないため、7 歳は 8 歳以上を含めたプラスグループとした。

得られた年別年齢別漁獲尾数を用いて、以下に示す VPA により年別年齢別資源尾数を推定した。

各年齢、各年における資源尾数 $N_{a,y}$ は、以下の Pope (1972) の近似式を用いて求めた。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp(M/2)$$

ここで $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の漁獲尾数である。最近年 (2018 年)、最高齢 (7 歳、プラスグループ) および最高齢-1 歳の資源尾数

はそれぞれ以下の式で求めた。

$$N_{a,2017}=C_{a,2018} \exp(M/2)/(1-\exp(-F_{a,2018}))$$

$$N_{7+,y}=C_{7+,y}/(C_{7+,y}+C_{6,y}) \times N_{7+,y+1} \times \exp(M)+C_{7+,y} \times \exp(M/2)$$

$$N_{6,y}=C_{6,y}/(C_{7+,y}+C_{6,y}) \times N_{7+,y+1} \times \exp(M)+C_{6,y} \times \exp(M/2)$$

ターミナル F を除く漁獲死亡係数 F 値の計算は以下の式で求めた。

$$F_{a,y}=-\ln(1-(C_{a,y} \exp(M/2) /N_{a,y}))$$

最高齢の F は最高齢-1 歳の F と等しくなるように求め、最近年、最高齢の F は最高齢-1 歳と等しくなるように探索的に求めた。また、2018 年の F は、主漁場である金華山～房総海区の 2005～2009 年の沖底網数に対する同海域の 2018 年の網数の比率を乗じて補正した。

なお、ヤナギムシガレイは 20 年以上生きることも報告されているが、2002～2008 年に漁獲、年齢査定された約 11,266 個体のうち、11 歳以上の個体は 47 個体と少なかった。そこで寿命を 10 年と仮定し、田内・田中の式（田中 1960）より自然死亡係数は $2.5/10=0.25$ で一定とした。

その結果、資源尾数は 2014 年から増加し、2016 年には 3,800 万尾を超えた。2017 年および 2018 年にはそれぞれ 3,200 万尾および 2,300 万尾となっている（補足表 2-2）。2018 年の資源尾数は過去 5 年の平均レベルであり、特に 3～5 歳魚が多く、1 歳魚が極めて少ない傾向にある（補足表 2-2）。F の値は震災前に比べると、特に若齢魚で低い傾向が認められた（補足表 2-3）。また、資源量は 2017 年と比べると少ないものの、最近 10 年では 2017 年に次いで多く、最近 20 年で見ても 2 番目に多い（補足表 2-4）。

引用文献

Pope, J. G (1972) An investigation of accuracy of virtual population analysis using cohort analysis.

Res. Bull. int. comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.

田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.

補足表2-1. 年齢別漁獲尾数（千尾）

年齢	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	1,117	220	34	468	153	736	534	443	84	368	418	366	170
2	1,724	1,138	494	294	547	201	488	785	691	181	827	984	1,446
3	824	798	688	140	349	275	137	320	361	348	174	505	633
4	287	419	426	134	145	146	197	48	187	243	151	136	223
5	149	235	223	105	52	85	37	90	43	108	80	105	109
6	83	117	118	63	68	61	37	25	62	64	50	97	77
7以上	101	125	105	68	76	38	86	66	56	102	60	94	50
合計	4,286	3,052	2,089	1,272	1,391	1,542	1,516	1,777	1,484	1,415	1,762	2,286	2,709

補足表2-2. VPAによって推定した資源尾数（千尾）

年齢	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	5,904	2,370	1,960	3,453	1,547	3,470	3,873	3,392	1,801	3,716	4,302	4,988	1,748
2	4,730	3,612	1,651	1,497	2,276	1,070	2,053	2,544	2,251	1,329	2,569	2,982	3,561
3	2,415	2,163	1,808	850	906	1,290	656	1,168	1,288	1,144	875	1,271	1,454
4	1,150	1,153	980	801	539	398	762	390	628	685	584	528	544
5	545	642	528	387	505	291	180	420	262	323	318	321	291
6	276	293	293	214	209	348	152	107	247	166	157	177	158
7以上	337	315	260	234	234	218	354	286	226	264	188	171	103
合計	15,357	10,548	7,482	7,437	6,216	7,085	8,030	8,308	6,703	7,627	8,994	10,437	7,859

注) コホート解析による推定値。

補足表2-3. VPAによって推定した漁獲死亡係数

年齢	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	0.24	0.11	0.02	0.17	0.12	0.27	0.17	0.16	0.05	0.12	0.12	0.09	0.12
2	0.53	0.44	0.41	0.25	0.32	0.24	0.31	0.43	0.43	0.17	0.45	0.47	0.62
3	0.49	0.54	0.56	0.21	0.57	0.28	0.27	0.37	0.38	0.42	0.26	0.60	0.68
4	0.33	0.53	0.68	0.21	0.37	0.54	0.35	0.15	0.41	0.52	0.35	0.34	0.62
5	0.37	0.53	0.65	0.37	0.12	0.40	0.27	0.28	0.20	0.47	0.34	0.46	0.55
6	0.42	0.60	0.61	0.40	0.46	0.22	0.32	0.31	0.33	0.58	0.45	0.97	0.80
7以上	0.42	0.60	0.61	0.40	0.46	0.22	0.32	0.31	0.33	0.58	0.45	0.97	0.80
平均	0.40	0.51	0.53	0.31	0.37	0.29	0.29	0.29	0.31	0.45	0.37	0.65	0.64

注) コホート解析による推定値。

補足表2-4. VPAによって推定した資源量（トン）

年齢	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	135	54	45	79	35	79	89	78	41	85	98	114	40
2	331	253	116	105	160	83	167	177	164	60	191	204	165
3	276	247	206	97	103	148	71	139	158	129	93	131	155
4	190	190	162	132	89	74	114	63	121	91	97	70	67
5	105	124	102	75	98	60	35	78	63	49	60	59	52
6	65	69	69	50	49	83	36	25	65	32	38	34	39
7以上	103	96	80	72	71	69	111	79	76	68	63	54	31
合計	1,205	1,034	779	610	606	597	621	639	688	514	640	666	548

注) 資源尾数に各年各年齢の平均体重（5-6月）を乗じたもの。
 性比は1:1と仮定し、7歳魚以上の個体はすべて雌とした。

補足表2-1. 年齢別漁獲尾数（千尾、続き）

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
374	34	70	295	184	433	9	0
114	166	159	149	1,511	843	190	208
350	211	164	149	239	1,564	944	1082
164	172	96	136	134	229	1,043	817
64	48	101	99	105	122	129	285
53	33	58	85	53	128	117	108
37	25	34	43	101	68	43	104
1,158	689	683	956	2,326	3,388	2,475	2,604

補足表2-2. VPAによって推定した資源尾数（千尾、続き）

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2,698	3,114	3,239	12,796	15,260	17,860	5,052	15
1,211	1,771	2,395	2,461	9,706	11,722	13,527	3,926
1,497	843	1,233	1,725	1,785	6,226	8,385	10,367
574	857	470	815	1,212	1,179	3,468	5,697
227	302	515	281	515	826	716	1,781
131	120	193	312	132	308	535	444
91	93	114	157	252	164	195	427
6,428	7,099	8,159	18,548	28,861	38,285	31,878	22,658

補足表2-3. VPAによって推定した漁獲死亡係数（続き）

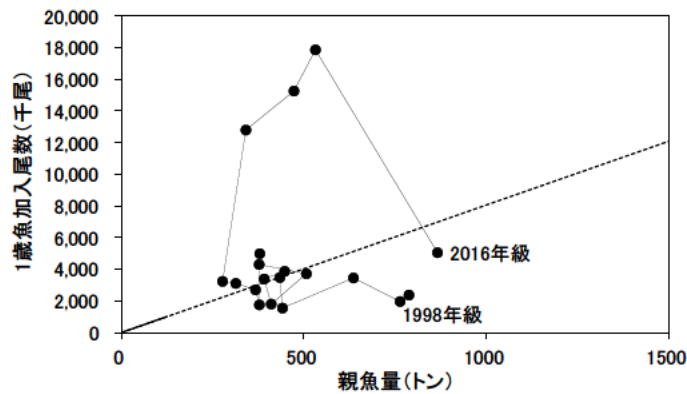
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0.17	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.00	0.01
0.11	0.11	0.08	0.07	0.19	0.09	0.02	0.06
0.31	0.33	0.16	0.10	0.16	0.34	0.14	0.13
0.39	0.26	0.26	0.21	0.13	0.25	0.42	0.18
0.39	0.20	0.25	0.51	0.26	0.18	0.23	0.20
0.62	0.37	0.42	0.37	0.60	0.63	0.29	0.32
0.62	0.37	0.42	0.37	0.60	0.63	0.29	0.32
0.43	0.27	0.27	0.27	0.35	0.38	0.22	0.21

補足表2-4. VPAによって推定した資源量（トン、続き）

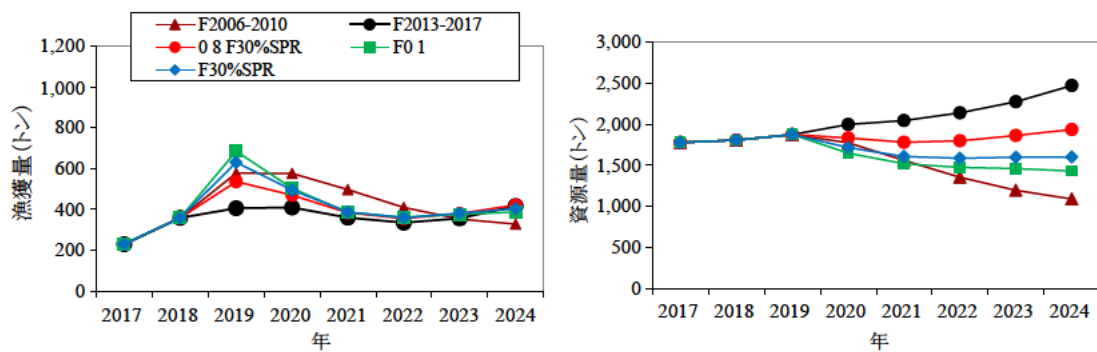
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
62	71	74	293	349	427	126	0
69	106	150	165	419	579	684	171
135	74	102	176	159	422	615	723
73	92	57	106	137	114	350	564
40	48	82	50	73	134	102	239
27	22	43	69	25	60	97	83
28	25	35	46	75	50	59	124
434	439	543	906	1,237	1,785	2,034	1,904

補足資料3 再生産関係を用いた漁獲量、資源量予測

1998 年級～2016 年級での再生産関係に基づき、RPS の中央値を求めた（補足図 3-1）。その結果、RPS の中央値は 8.05 尾/kg と算定された（親魚は雌雄合計値）。また、これをもとに $RPS \times SPR = 1$ となる F (F_{med}) を求めたところ、4 歳魚の F は 0.414（各年齢平均で 0.485）と算出された。RPS メジアンと親魚量を用いて親魚量に応じた加入量を推定し、さまざまな基準で漁獲した際の 2017 年以降の資源量と漁獲量の変動をシミュレートした（補足図 3-2）。 $F_{current}$ で漁獲すると、資源量は一度わずかに減少したあと緩やかに増加し、2025 年には資源量は 2,176 トンになる。また、漁獲量も同様の傾向を示し、2024 年には 365 トンになる。ただし、先述のように 1990 年代の卓越年級は非常に少ない親魚量で発生したと考えられ、この再生産関係は大きく変化する可能性があること、現在は震災以前の漁獲の中心であった福島県の漁獲が非常に少ないこと、卓越年級を発生させることのできる親魚量の下限や加入量の上限などが不明確なことから、ABC 算定には用いていない。



補足図 3-1. 1998～2016 年級における再生産関係 破線は RPS メジアンを示す。



補足図 3-2. 再生産関係を用いて求めた、様々な管理基準における漁獲量（左）と資源量（右）

補足資料4 標準化 CPUE を用いたチューニング VPA

年、月、海域および狙い操業の影響を除去するため、GLM（一般化線型モデル）を用いてヤナギムシガレイの主要な漁場である金華山～房総海区の CPUE の標準化を行った。分析には 1973 年以降の沖底漁績のデータより抽出した、本種の有漁網データを用いた。自然対数を取った本種の CPUE を応答変数として採用し、モデルの誤差は正規分布に従うと仮定した。説明変数には、年（Year）、月（Month）、海区（Area）とそれらの 2 次の交互作用を用い、それらは全てカテゴリカル変数として扱った。月（Month）はデータ欠損が生じないよう 1～3 か月ごとにまとめた。GVIF（Fox and Monette 1992）を指標として多重共線性の高い変数を除いた後で、フルモデルを作成した。フルモデルは AIC を用いた変数増減法にて変数選択を行い、AIC が最も低くなるモデルをベストモデルとして選択した。変数選択には R Ver 3.5.3 の MASS パッケージを用いた (<https://www.R-project.org/>、2019 年 8 月 15 日)。その結果、以下の式がベストモデルとして選択された。

$$\text{Ln}(\text{CPUE}) = \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Year} * \text{Month} + \text{Year} * \text{Area} + \text{Month} * \text{Area}$$

ここでの記号は次の通りである。

Year: 年 (1973～2018)

Month: 月 (1～3、4～6、9、10～12)

Area: 小海区 (金華山、常磐、房総)

両モデルとも、観測値と推定値の残差は概ね正規分布に従っていた（補足図 4-1、4-2）。正規確率図では、尻屋崎～襟裳西海区では上方と下方で逸脱が観察されたが、それらのデータ数の割合は低かった（補足図 4-3）。金華山～房総海区では大きな逸脱は観察されなかった（補足図 4-3）。また、両モデルとも年別の残差は 0 周辺に分布することが確認された（補足図 4-4）。これらのモデルを用いて標準化 CPUE を求めたところ、沖底 CPUE（年間漁獲量／年間有漁網数）と概ね類似したトレンドを示した（補足図 4-5）。

次に標準化した CPUE を指数として VPA のチューニングを行った。最近年（2018 年）の各年齢の漁獲係数 F を以下のようにチューニングし、資源尾数および F を推定した。最近年の 1～5 歳の F の年齢別選択率には、チューニングをしない VPA から推定された 2012-2016 年の平均値を用い、最近年以前の F については補足資料 2 で示したものをを用いた。平松（2001）に基づき、(1) 式を最小化する最近年の F_t を探索的に求めた。

$$\sum (I_y - qB_y)^2 \quad (1)$$

また、 $\hat{q}$ の推定値は (2) 式で解析的に求めた。

$$\hat{q} = \frac{\sum_y I_y N_y}{\sum_y N_y^2} \quad (2)$$

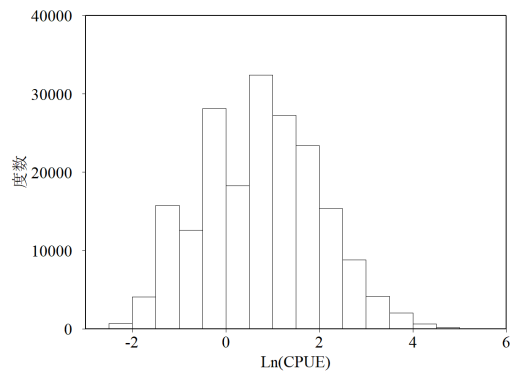
ここで N は資源量、 I には 2001～2018 年の沖底金華山～房総海区の CPUE を用いた。

その結果、2018 年の資源量は 889 トンと推定された（補足図 4-6）。全体的な傾向は沖底網数で補正した VPA の値と類似していたが、近年の資源量値はチューニング VPA の方が低く抑えられており、さらに 2018 年の資源量は 2016 年および 2017 年の資源量に比べて減少していた。本種の漁獲の中心は現在本操業を停止している福島県沖であり、震災以前は福島県における漁獲が 50%以上を占めていた。そのため、ここでは沖底の網数による補正を重視し、標準化 CPUE によるチューニング結果は補足資料への記載に留めた。

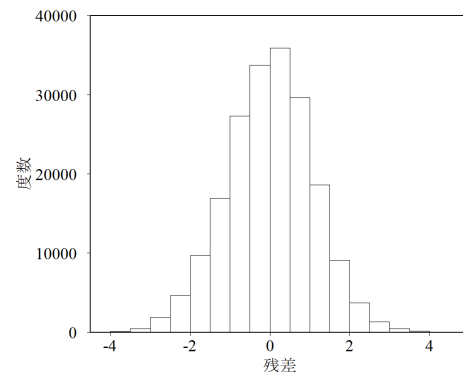
引用文献

平松一彦（2001）VPA. 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書 ー資源解析手法教科書ー, 日本水産資源保護協会, 104-128.

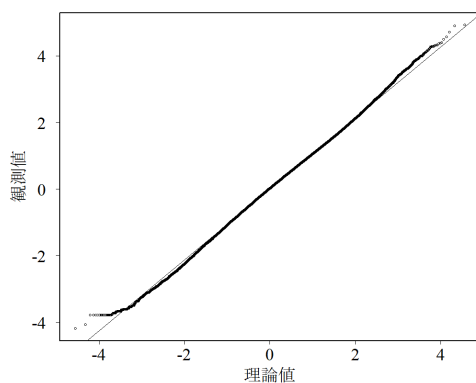
Fox, J. and G. Monette (1992) Generalized Collinearity Diagnostics. J. Am. Stat. Assoc., **87**, 178-183.



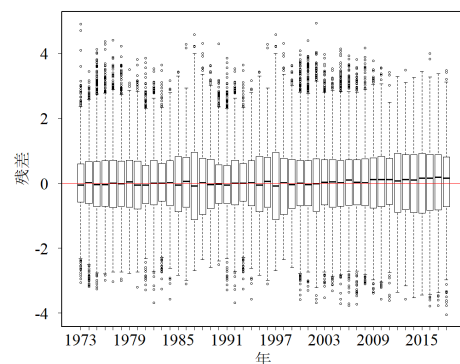
補足図 4-1. 操業毎の LogCPUE（1973～2018 年データ）



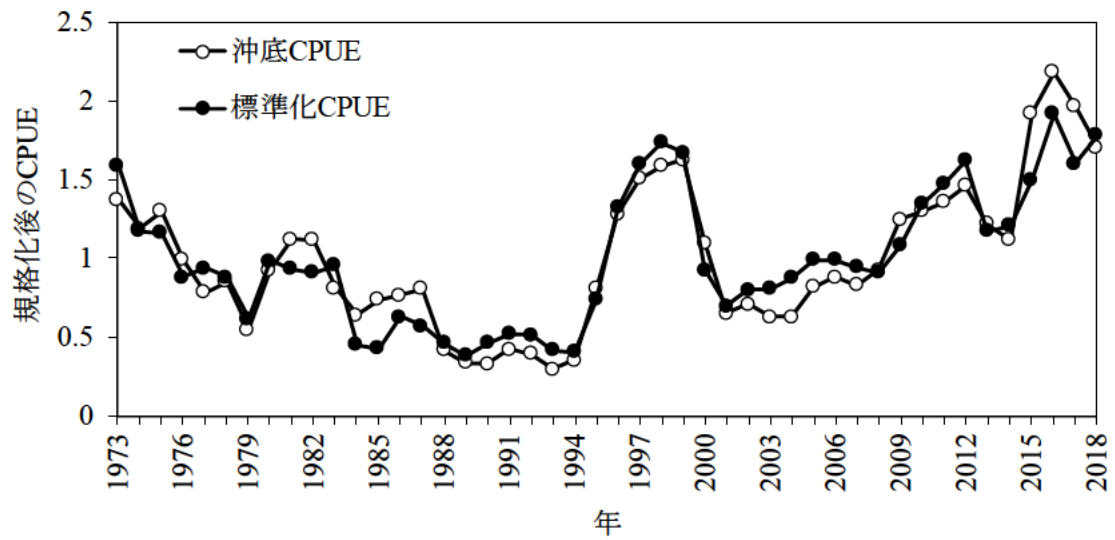
補足図 4-2. モデル予測値と実測値の残差（1973～2018 年データ）



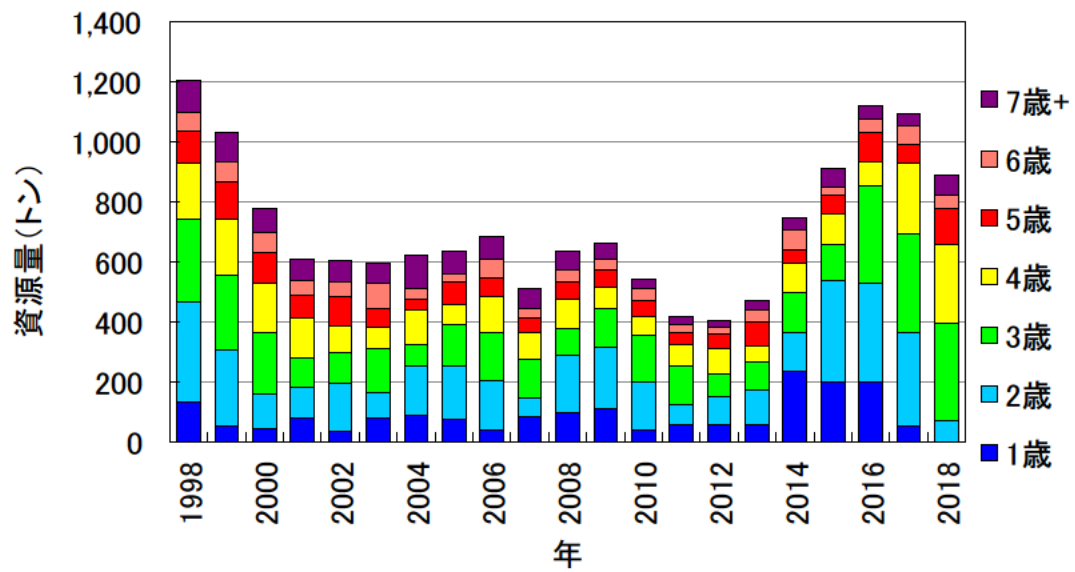
補足図 4-3. 残差ヒストグラムの正規性の確認



補足図 4-4. 年ごとの残差 箱ひげ図は第一～第三四分位、バーは最大値、最小値の 1.5 倍、バーの外側は外れ値を示す。



補足図 4-5. 沖底 CPUE と標準化 CPUE の時系列変化
それぞれ平均値で除すことで規格化した。



補足図 4-6. 標準化 CPUE によってチューニングした VPA によって求めた資源量