

## 令和 2（2020）年度ヤナギムシガレイ太平洋北部の資源評価

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

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 トン～254 トンであった。2019 年は 198 トンとやや減少している。VPA による資源量推定値から、資源の水準は高位、動向は横ばいと判断した。近年は加入が安定していることもあり、現在の資源は幅広い年齢で構成されている。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、 $F_{limit}=F_{current}$ 、 $F_{target}=F_{limit} \times 0.8$  とし、2021 年 ABC を算出した。

管理基準	Target/Limit	2021 年 ABC (トン)	漁獲割合 (%)	F 値 (現状の F 値 からの増減%)
$F_{current}$	Target	300	16	0.20 (-20%)
	Limit	364	19	0.25 (±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、係数には標準値の 0.8 を用いた。高位水準、横ばい傾向にあるため、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 2021 年の漁獲量/資源量である。2020 年以降の加入量は直近 10 年（2009 年～2018 年）の平均値とした。なお、 $F_{current}$  は 2014～2018 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 (%)
2016	1,664	1,019	249	0.32	15
2017	1,819	1,368	237	0.18	13
2018	1,802	1,549	254	0.17	14
2019	1,619	1,310	198	0.17	12
2020	1,980	1,555	365	0.25	18
2021	1,910	1,616	—	—	—

2020、2021 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、2019 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：横ばい

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり

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されると考えられる（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）。

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

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

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

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

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トン～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年、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、2016年～2019年は100～139トンで推移している。

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年～2000年には288～386トン記録していた（図5、表1）。2001年～2008年には133トン～179トンで1998年のピーク時（386トン）の半分以下で推移していたが、2009年、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、2019年には198トンになっている。

#### (3) 漁獲努力量

金華山～房総海区の沖底の有漁網数（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。主漁場である常磐海域では、2010年には18千網を超えたが、2011～2017年には東日本大震災の影響で大きく減少し、その後は緩やかに回復している（2019年は暫定で4.2千網）。

### 4. 資源の状態

#### (1) 資源評価の方法

1998年～2019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稼働率（震災以降の最大網数（2018年）を2005～2009年平均網数で除したもの）を求め、その値により直近年のFを補正した。ヤナギムシガレイの寿命や成長には雌雄差があるが、年齢別の性比の情報が得られていないため、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歳以上では雌の年齢別の体重を雌雄全体の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。2015 年以降は海區別にばらつきが見られ、金華山海区では減少し、房総海区では 2016 年に過去最高を記録した後に減少し、常磐海区では 2019 年でも非常に高い状態となっている（図 8）。金華山～房総海区を合わせると、2016 年をピークとして減少はしているものの、依然高い状態を保っている（図 9）。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、月および海域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全長組成のピークは 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。2019 年には 20～25 cm の個体が多く、この全長階級が漁獲の中心になっていた。また、近年の中では 15 cm 前後の個体も比較的多く漁獲された。

### (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 年～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 0.17～0.42 となっている。なお、 $F_{\text{current}}$ （2014 年～2018 年の F 値の平均）は 0.25 であった。資源量は 1998 年の 1,205 トンから減少し、2001 年～2013 年は 524～712 トンで推移していたが、2015 年は 1,282 トン、2017 年は 1,819 トンと増加の傾向が認められ、2019 年には 1,619 トンになっている（図 12、補足表 2-4）。漁獲割合は 2001 年～2010 年には 22～42% で推移していたが、2011 年以降には震災の影響で減少し、2019 年には 12% になっている（図 12）。また、加入量（1 歳魚）は 1998～2013 年には 35 トン～135 トンで推移していたが、2014 年～2016 年には 289 トン～307 トンと非常に高い値になり、2018 年には 128 トンと比較的高い値になった（図 13、補足表 2-4）。

### (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(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1998年~2000年には約1,200トンから約800トンに減少し、その後、2001年~2013年までは、約400トン~600トンで推移していた(図13)。2014年から増加傾向が見られ、2017年には1,800トンを超え非常に多くなった。2019年は1,619トンとなっており、2017年よりも少ないものの、最近22年間の中では3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(中高位境界=1,173トン、中低位境界=632トン)。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(2015年~2019年)の資源量は増加後に若干減少していることから、動向は横ばいと判断した。

#### (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(2009~2018年)の満1歳魚の加入尾数の平均値(7,047千尾)を用いた。

#### (9) 生物学的管理基準(漁獲係数)と現状の漁獲圧の関係

1998年~2018年の漁獲係数F値は0.17~0.65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年~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。2014~2018年の漁獲圧の平均値(F<sub>current</sub>)はF<sub>30%SPR</sub>よりも低く(F<sub>50.1%SPR</sub>)、震災前の漁獲圧(F<sub>2006-2010</sub>)やF<sub>0.1</sub>よりも低い。

### 5. 2021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年~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年～2015年級が多かったこともあり、回復している。2019年の資源量が多いが、2017年および2018年と比べて200トン前後少ないことから、資源水準は高位、動向は横ばいと判断した。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、2019年も4～6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

2021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2014年～2018年の平均値と同じとし、2020年の漁獲はFcurrentを仮定した。

体重に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、2020年以降の加入量は上述のように2009～2018年の満1歳魚の加入尾数の平均値(7,047千尾)とした。

この条件の漁獲が2020年末まで続くと仮定すると、2021年当初の資源量は1,910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、近年の加入も比較的安定している。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、Fcurrentを基準値とした。水準と動向は高位、横ばいと判断されるので、ABC算定のための規則1-3)-(1)に基づき $F_{limit}=F_{current}$ でABCを算定した。

不確実性を考慮して安全率αを基準値の0.8とし、その値をFlimitに乗じたものをFtargetとして、このときの漁獲量をABCtargetとした。その結果、ABClimit=364トン、ABCtarget=300トンと算出された。

管理基準	Target/Limit	2021年ABC (トン)	漁獲割合 (%)	F値(現状のF値 からの増減%)
Fcurrent	Target	300	16	0.20 (-20%)
	Limit	364	19	0.25 (±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。Ftarget=α×Flimitとし、係数には基準値の0.8を用いた。資源水準は高位、資源動向は横ばいにあるため、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 2021 年の漁獲量/資源量である。2020 年以降の加入量は直近 10 年 (2009~2018 年) の平均値とした。なお、Fcurrent は 2014~2018 年の F 値の平均である。

(3) ABC の評価

参考資料として、2020 年以降の管理基準として F0.1、Fcurrent (F2014-2018)、0.8Fcurrent、F30%SPR、0.8F30%SPR、F2006-2010 について検討した。Fcurrent を基準値とすることにより、2021 年以降の漁獲量、資源量および親魚量は 2021 年が最も高く、その後減少する (図 17)。これは、近年では 2014 年~2016 年の加入量 (1 歳魚) が多かった一方で、2020 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 2021 年以降の減少は緩やかで、2026 年の資源量は 1,508 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 2021 年となり、その後は減少する (図 17)。F30%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、2026 年の資源量、漁獲量はそれぞれ 1,093 トン、273 トンになる。

管理基準	F 値	漁獲量 (トン)							
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
0.8Fcurrent	0.20	198	365	300	283	267	256	244	245
Fcurrent	0.25	198	365	364	328	298	279	263	260
0.8F30%SPR	0.37	198	365	510	406	341	303	280	274
F30%SPR	0.46	198	365	607	444	353	306	281	273
F2006-2010	0.48	198	365	654	472	368	307	270	254
F0.1	0.72	198	365	832	484	344	288	267	261
管理基準	F 値	資源量 (トン)							
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
0.8Fcurrent	0.20	1,619	1,980	1,910	1,850	1,758	1,708	1,657	1,659
Fcurrent	0.25	1,619	1,980	1,910	1,778	1,647	1,574	1,516	1,508
0.8F30%SPR	0.37	1,619	1,980	1,910	1,618	1,416	1,313	1,253	1,236
F30%SPR	0.46	1,619	1,980	1,910	1,510	1,277	1,166	1,110	1,093
F2006-2010	0.48	1,619	1,980	1,910	1,437	1,142	982	891	853
F0.1	0.72	1,619	1,980	1,910	1,263	996	897	860	850
管理基準	F 値	親魚量 (トン)							
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
0.8Fcurrent	0.20	1,310	1,555	1,616	1,555	1,464	1,414	1,363	1,365
Fcurrent	0.25	1,310	1,555	1,616	1,484	1,353	1,280	1,223	1,215
0.8F30%SPR	0.37	1,310	1,555	1,616	1,325	1,124	1,021	960	943

F30%SPR	0.46	1,310	1,555	1,616	1,219	985	875	819	802
F2006-2010	0.48	1,310	1,555	1,616	1,156	861	702	610	573
F0.1	0.72	1,310	1,555	1,616	975	708	609	572	562

ここでの F 値は各年齢の平均値である。また、F2006-2010 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
2018 年漁獲量確定値	2018 年漁獲量の確定
2019 年漁獲量	2019 年漁獲量の暫定値
2019 年年齢別・年別漁獲尾数	2019 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 (千トン)	ABClimit (千トン)	ABCtarget (千トン)	漁獲量 (千トン) (実際の F 値)
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	
2019 年(2020 年 再評価)	Fcurrent	0.32	1,619	316	261	198 (0.12)
2020 年(当初)	Fcurrent	0.30	1,486	401	332	
2020 年(2020 年 再評価)	Fcurrent	0.30	1,980	420	347	

F 値は各年齢の平均値。漁獲量は暫定値。なお、2019 年(2020 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。

2020 年再評価で 2019 年の資源量は減少し、2020 年の資源量は若干増加した。これは、それぞれ 2019 年評価では非常に多いと推定されていた 2015 年級が 2020 年評価ではやや少なく推定されたこと、また、少ないとみられていた 2017 年級が想定よりも多く推定された事による。

6. ABC 以外の管理方策の提言

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 年～2016 年には非常に多くの 1 歳魚が見られた一方で、2017 年～2019 年の 1 歳魚はやや少なかった。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 willowy 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.

(執筆者: 成松庸二、鈴木勇人、森川英祐、時岡 駿、三澤 遼、金森由妃、富樫博幸、永尾次郎)

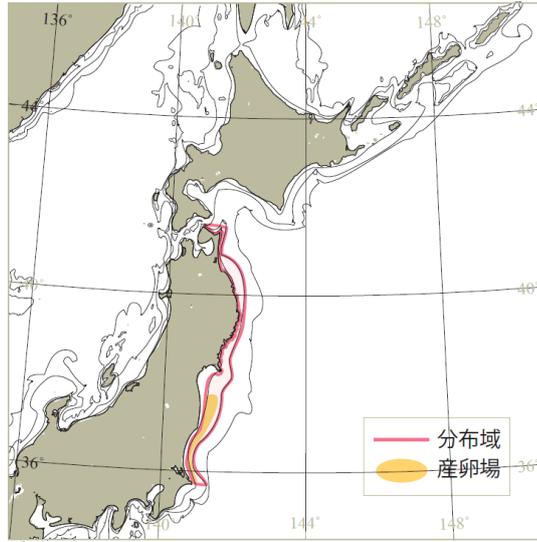


図1. 太平洋北部におけるヤナギムシガレイの分布

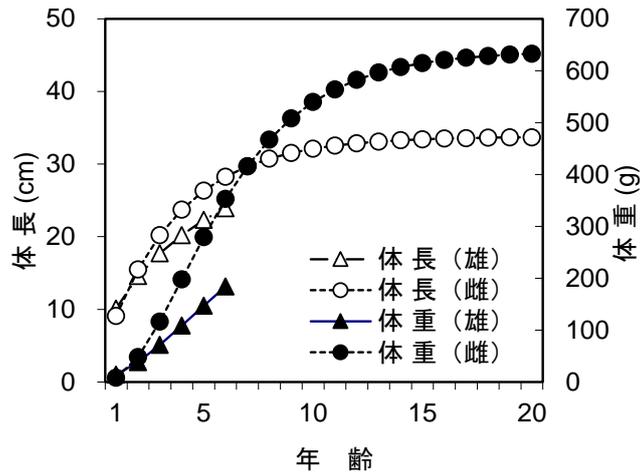


図2. 太平洋北部におけるヤナギムシガレイの成長

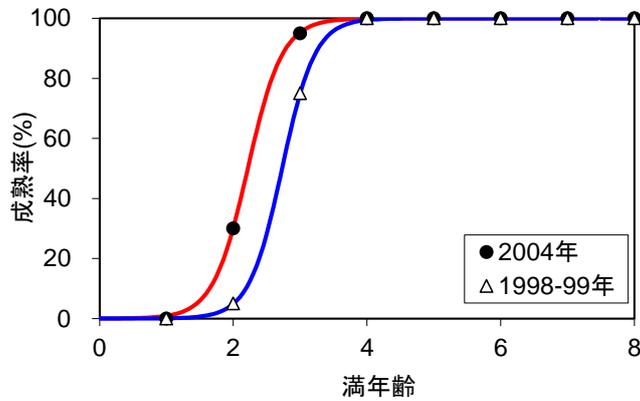


図3. 年齢と成熟率の関係

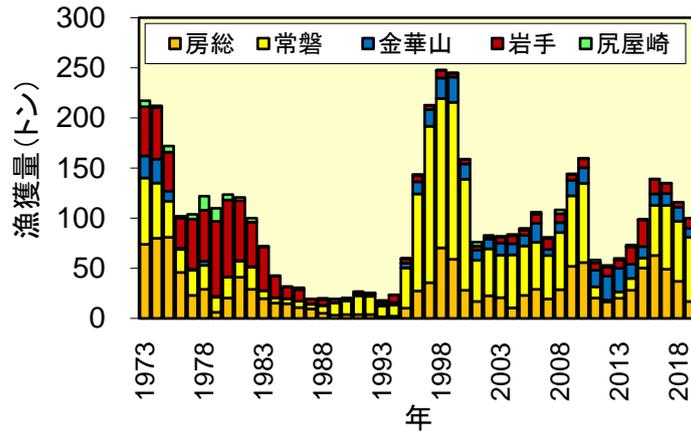


図4. 太平洋北部の沖底による漁獲量の推移 2019年は暫定値。

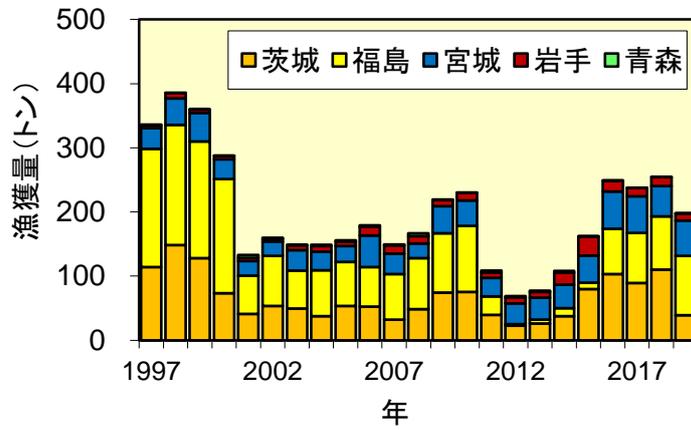


図5. 全漁業種による漁獲量の推移 2019年は暫定値。

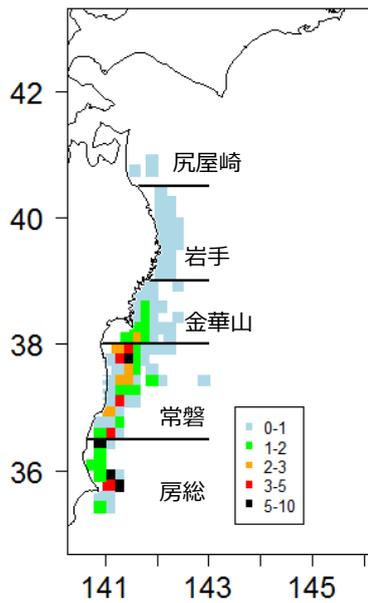


図6. 沖底による2018年の漁獲量(トン)の分布

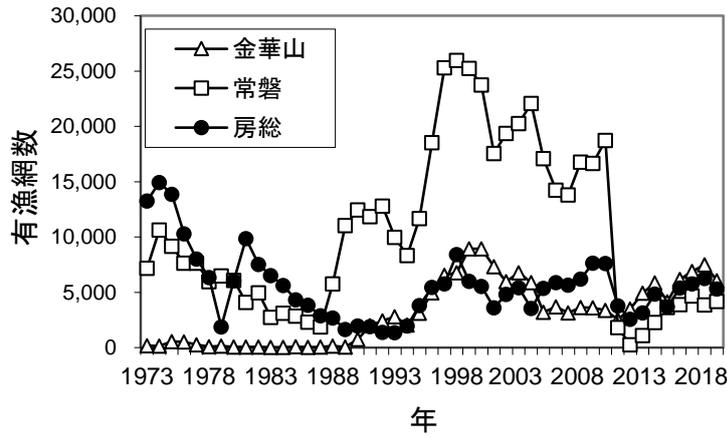


図 7. 沖底の漁業努力量の推移 2019 年は暫定値。

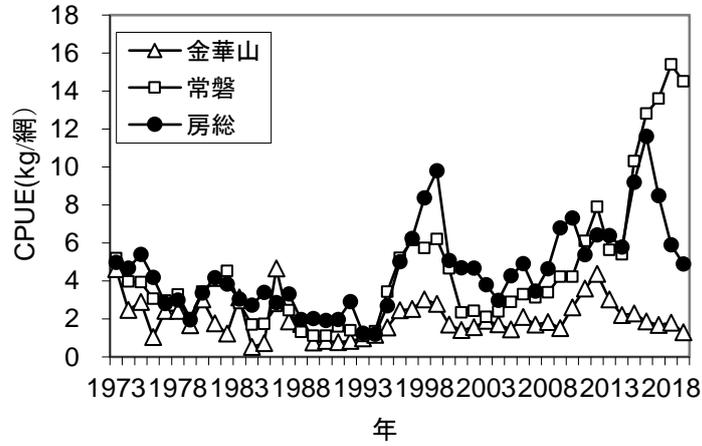


図 8. 沖底の海区別 CPUE 2019 年は暫定値。

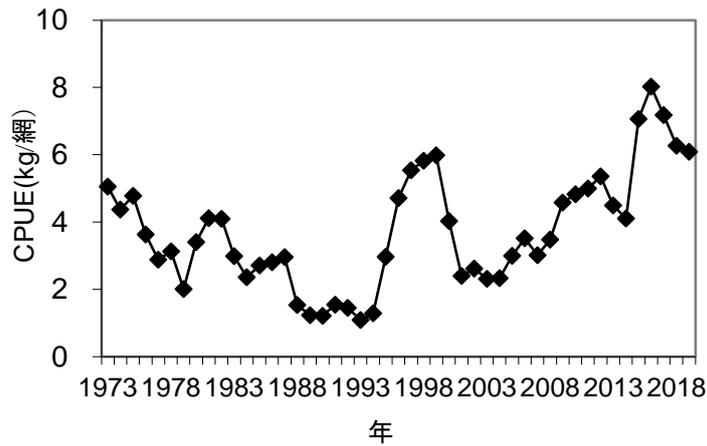


図 9. 金華山～房総海区の沖底の CPUE

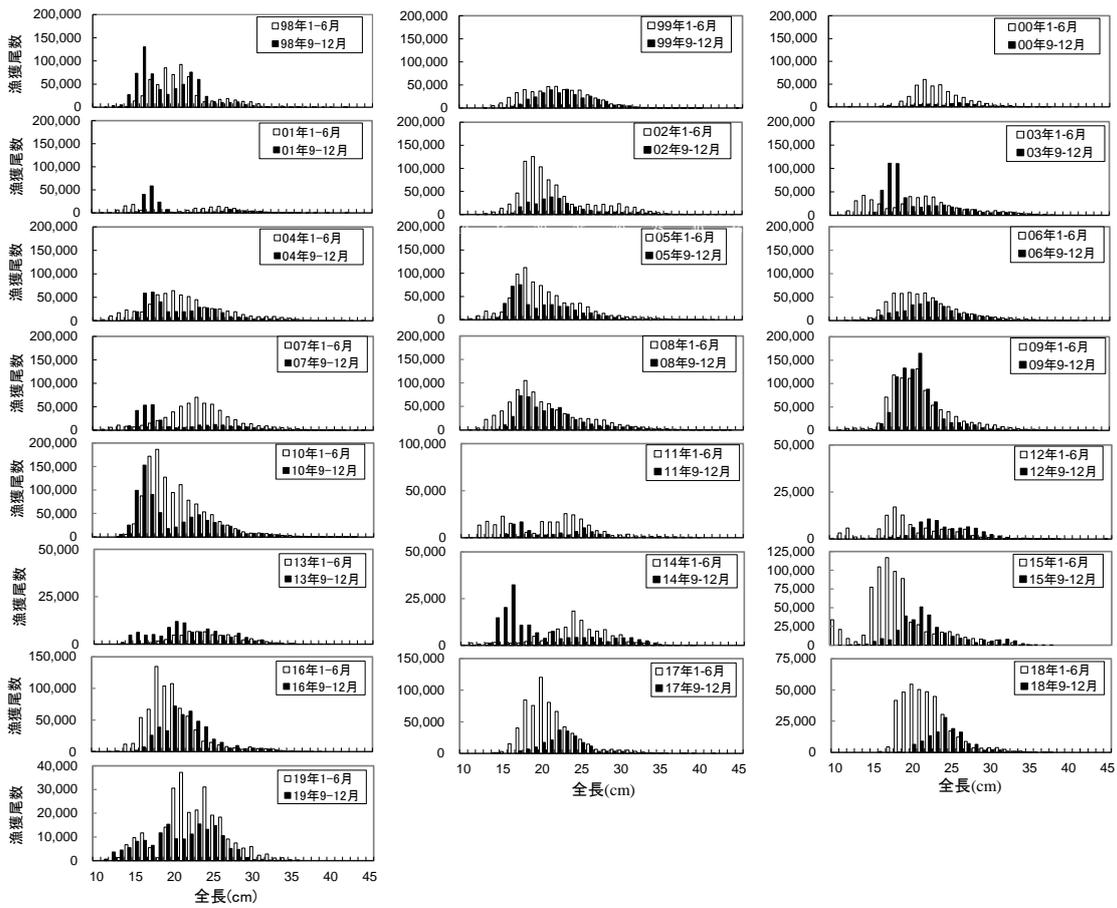


図 10. ヤナギムシガレイ漁獲物の年別前後期別の全長組成  
 1998年～2001年、2011年～2019年は茨城県水揚げ分で、2002～2010年は福島県水揚げ分。

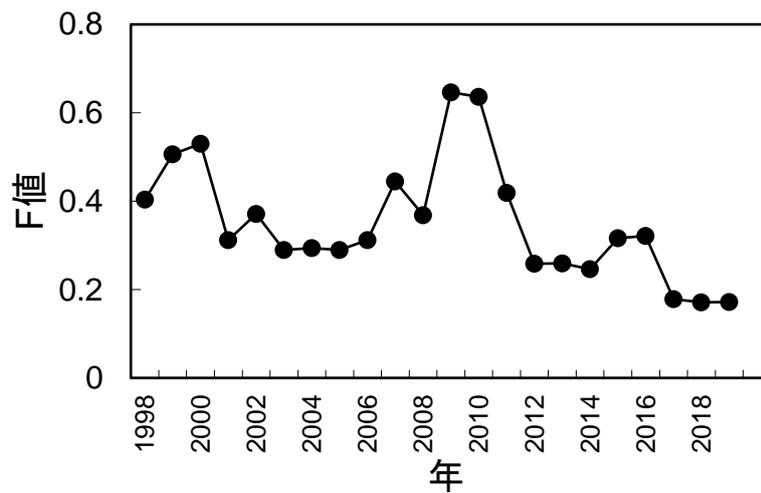


図 11. F 値 (各年齢平均) の推移

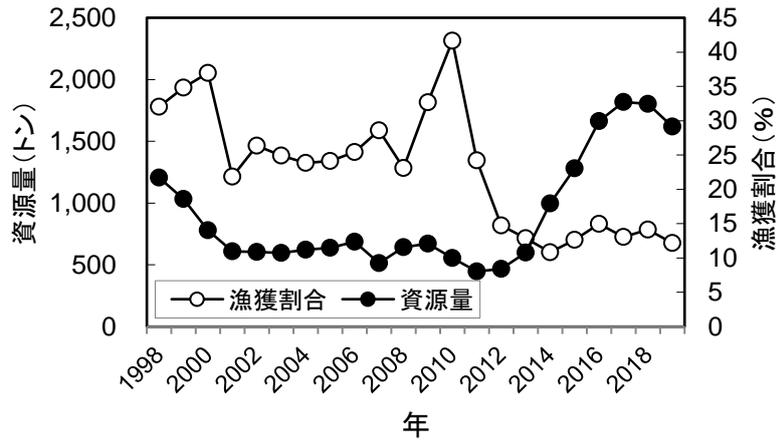


図 12. 資源量と漁獲割合の推移

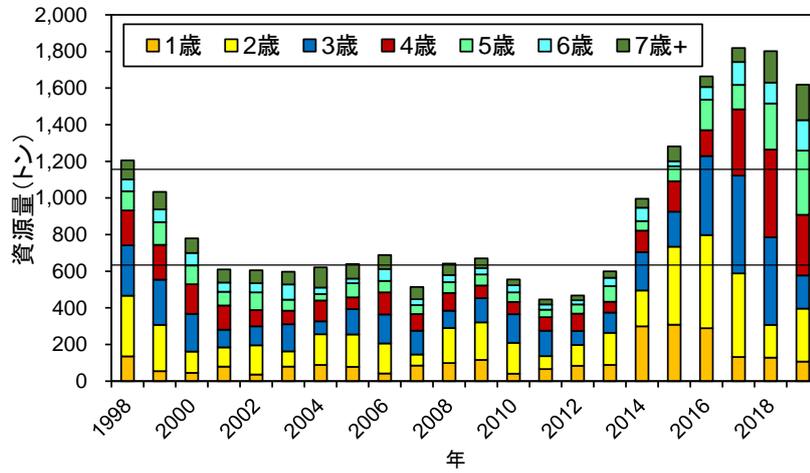


図 13. 年齢別資源量の推移 横線は水準の境界を示す。

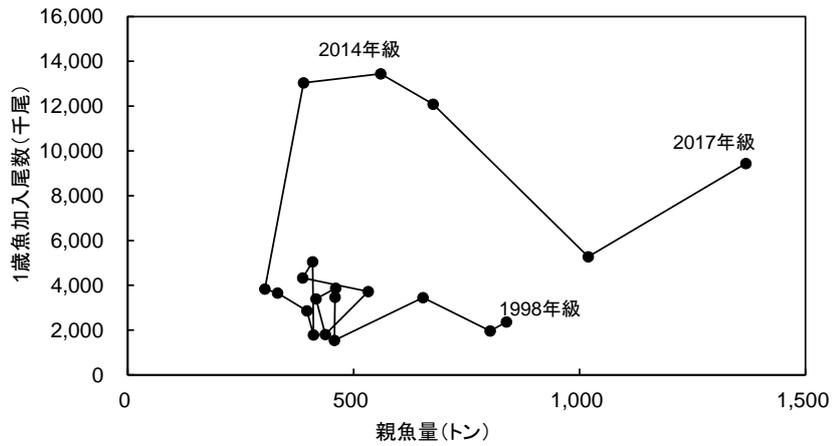


図 14. 再生産関係

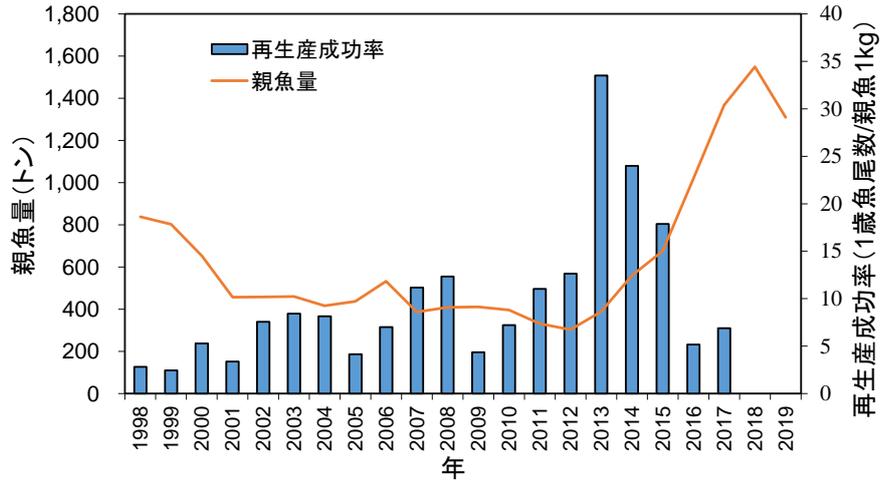


図 15. 親魚量と再生産成功率の推移

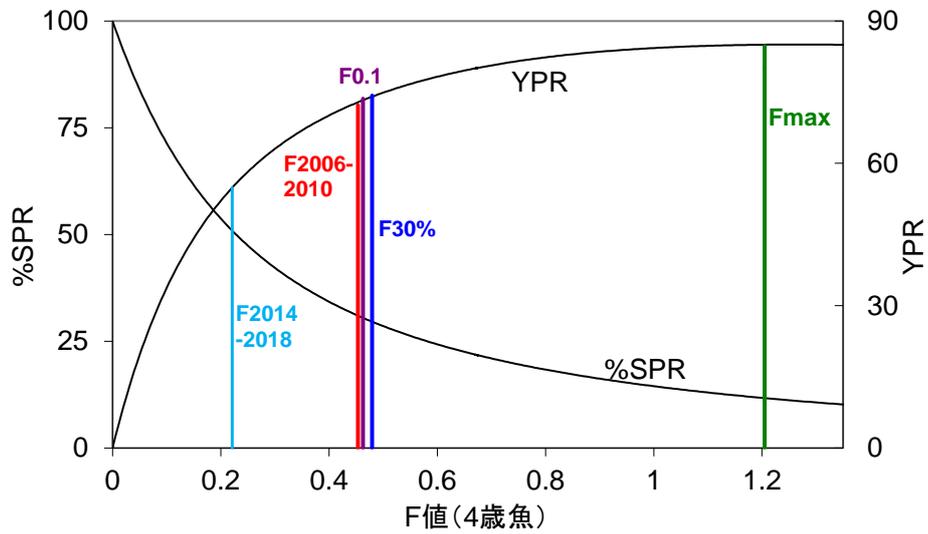


図 16. 漁獲係数 (F) と%SPR および YPR

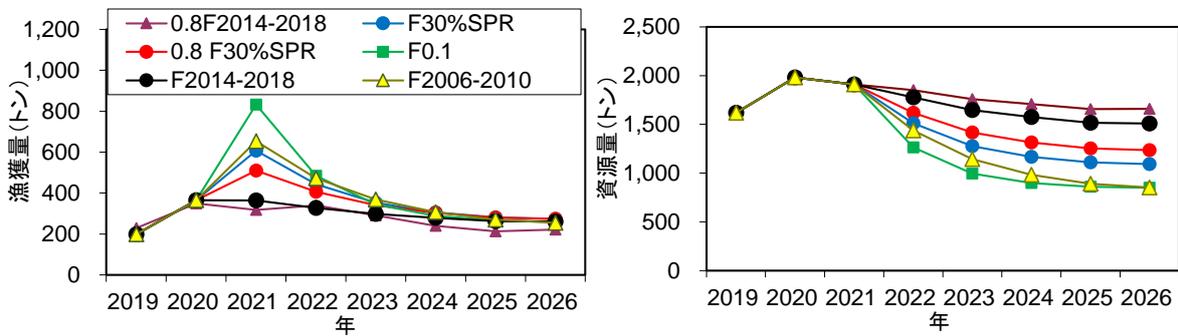


図 17. さまざまな管理基準に基づく漁獲量 (左図) と資源量 (右図) の予測

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	2019
青森	沖底	1.3	0.4	0	0	0	4.0	1.4	0.6	1.5	1.5	2.2	1.4	3.8	0.6	0.5	2.8	1.8	1.8	2.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	小底	0.5	0.3	0.5	0.2	0.3	0.4	0.1	0.1	0.5	0.5	0	0.1	0.7	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0	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	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	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	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	0	0
岩手	沖底	-	4.1	7.6	3.9	4.3	3.9	2.4	6.2	7.7	5.4	9.1	10.7	8.8	5.8	8.9	7.4	8.6	8.1	16.9	26.6	14.0	10.4	12.3	10.0
	小底	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	刺網	-	0.6	0.6	0.5	0.5	1.1	1.4	0.3	0.8	1.0	3.4	1.7	2.6	3.7	2.9	0.7	1.0	0.8	1.5	3.2	2.6	2.2	1.9	1.0
	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	-	0.1	0.2	0.9	0.7	0.3	0.4	1.0	0.4	0.6	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0.4	0.2	0	0	0	0
宮城	沖底	12.2	16.5	20.5	25.0	15.3	10.4	9.4	12.1	11.3	10.5	18.8	6.1	9.9	15.4	15.6	16.6	23.9	23.8	14.1	11.4	12.0	11.6	14.1	8.9
	小底	12.8	15.2	19.9	18.5	13.6	8.9	9.3	17.0	15.8	10.4	10.5	10.9	11.7	13.1	9.1	6.0	5.4	6.4	20.5	27.1	42.9	43.4	30.4	42.5
	刺網	0.2	0.3	0.4	0.4	1.2	0.8	3.0	1.2	1.7	2.3	19.9	15.1	1.2	13.7	14.8	6.4	3.2	4.0	0.4	0.7	0.6	0.4	0.5	0.7
	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	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	0
その他	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4	2.5	0.7	1.6	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1	3.1	2.8	1.9	2.1	2.7	
福島	沖底	96.9	155.8	148.9	156.7	110.8	41.0	47.0	42.5	52.8	49.5	47.0	43.3	57.0	70.3	79.1	11.2	2.1	6.2	12.0	10.0	50.0	63.8	55.9	64.4
	小底	14.5	26.8	29.7	22.2	36.0	13.0	21.3	15.8	16.3	16.7	13.9	25.8	21.9	21.2	22.7	11.0	0	0	0	0	20.4	14.4	27.2	28.3
	刺網	0.4	1.9	8.8	3.1	31.5	5.9	9.8	1.2	2.3	2.4	0.7	1.8	0.3	0.9	1.3	6.4	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	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	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	0	
茨城	沖底	27.3	35.9	70.4	58.9	28.2	16.9	22.6	20.6	10.6	22.9	29.0	19.6	28.8	52.0	55.7	20.4	16.5	20.2	28.0	50.3	63.0	49.0	48.3	16.8
	小底	52.0	77.0	78.0	69.0	45.0	24.0	31.0	28.5	26.8	30.6	23.6	12.5	19.6	22.1	19.5	19.3	6.3	5.9	9.7	29.2	40.3	40.1	61.6	22.0
	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	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	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	0
その他	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1
小計	沖底	143.7	212.7	247.5	244.5	158.6	76.2	82.7	81.9	83.9	89.7	106.1	81.1	108.3	144.2	159.8	58.4	52.9	60.1	73.3	98.4	139.1	134.9	130.7	100.2
	小底	-	119.3	128.1	109.9	94.9	46.3	61.7	61.4	59.4	58.2	48.0	49.3	53.9	56.7	51.7	36.5	11.8	12.4	30.2	56.3	103.6	97.9	119.2	92.8
	刺網	-	2.8	9.8	4.0	33.2	7.8	14.2	2.7	4.8	5.7	24.0	18.6	4.1	18.3	19.0	13.5	4.2	4.8	1.9	3.9	3.2	2.6	2.4	1.7
	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	0.1	0.3	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	-	1.2	0.4	1.3	1.2	2.8	1.1	2.7	0.6	2.1	0.6	0.3	0.4	0.1	0	0	0	0	2.5	3.4	2.8	1.9	2.1	2.8	
計	-	356	386	360	288	133	160	149	149	156	179	149	167	219	231	108	69	77	108	162	249	237	254	198	

各県水試調べ。2018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別別の漁獲量を適用(例:宮城=金華山海区、福島=常磐海区)。

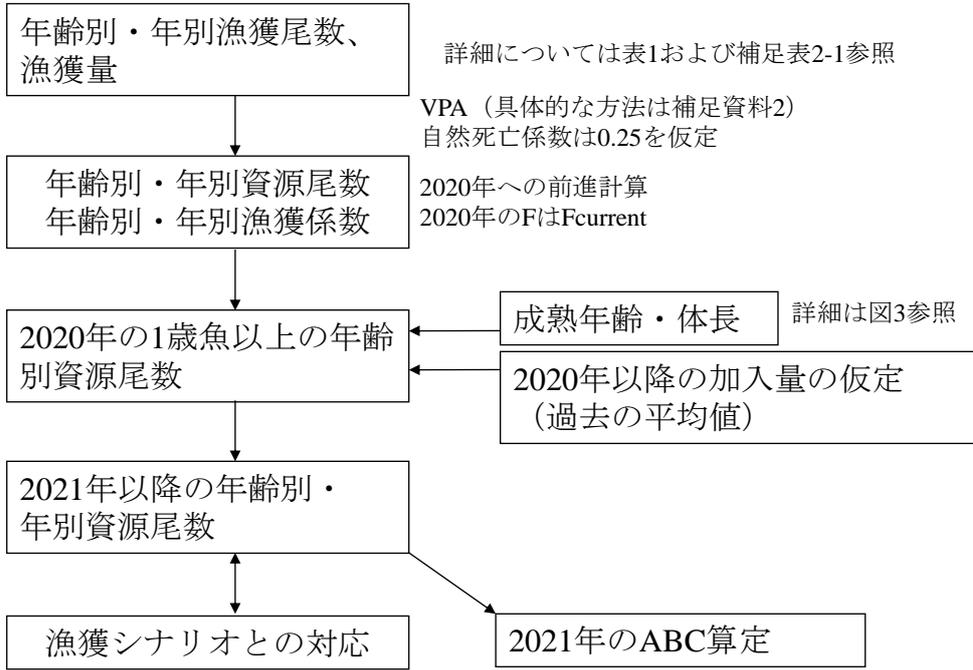
2016~2018年福島県の小底の漁獲量は、福島県の底びき網漁獲量の合計から沖底統計から求めた沖底の漁獲量を引いた値。

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	37	60	14	5	0	116
2019	17	64	9	10	0	100
2019沖底	26	61	8	4	0	99

上の2019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年～2010年は福島県、2011年～2015年、2017年～2019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（補足図 2-1）。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（2019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。

$$N_{a,2019} = C_{a,2018} \exp(M/2) / (1 - \exp(-F_{a,2019}))$$

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

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

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、2019年の  $F$  は、主漁場である金華山～房総海区の2005年～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。

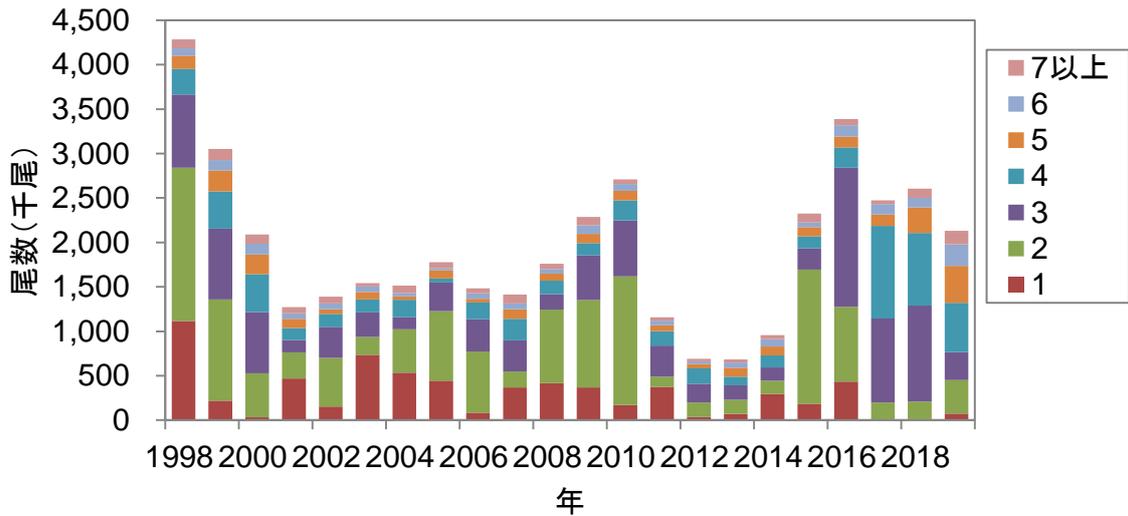
その結果、資源尾数は 2014 年から増加し、2016 年には 3,100 万尾を超えた。2018 年お

よび 2019 年にはそれぞれ 2,700 万尾および 2,500 万尾となっている（補足図 2-2、補足表 2-2）。2019 年の資源尾数は過去 5 年の平均レベルであり、特に 3～6 歳魚が多く、1、2 歳魚も中程度である（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（補足図 2-3、補足表 2-3）。また、資源量は 2017 年、2018 年と比べると少ないものの、最近 10 年では 4 番目に多い（補足表 2-4）。

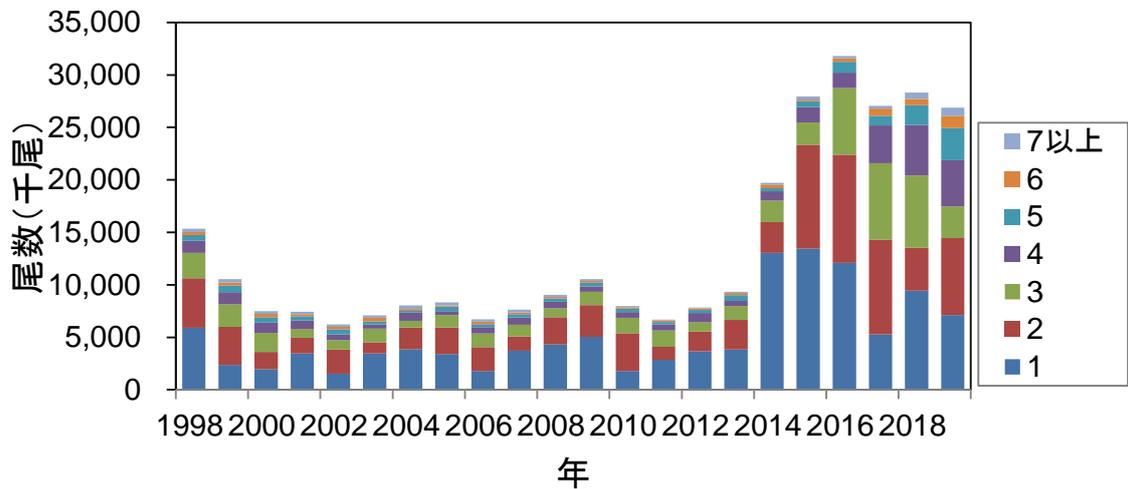
#### 引用文献

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.

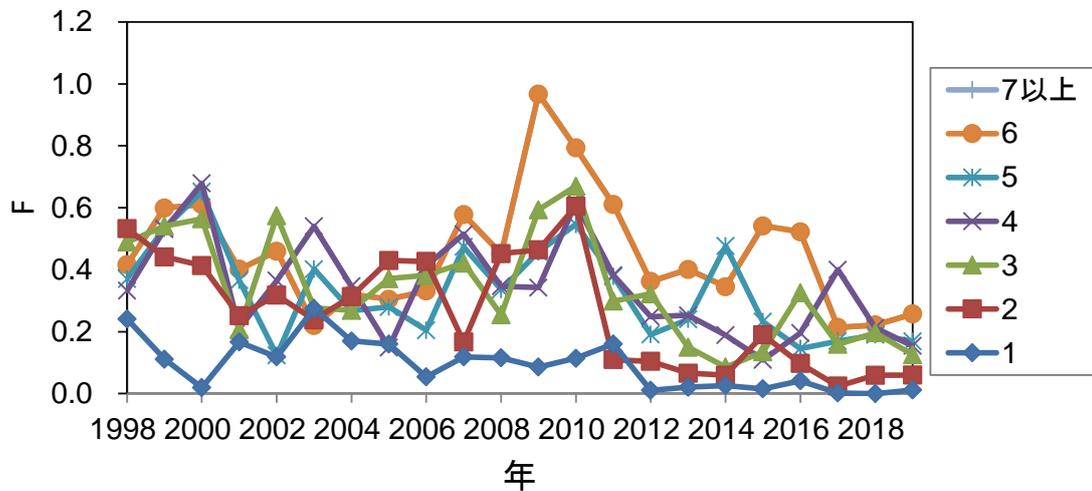
田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.



補足図 2-1. ヤナギムシガレイ太平洋北部の年齢別漁獲尾数



補足図 2-2. ヤナギムシガレイ太平洋北部の年齢別資源尾数



補足図 2-3. ヤナギムシガレイ太平洋北部の年齢別 F

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	1,961	3,454	1,548	3,471	3,874	3,396	1,808	3,727	4,328	5,051	1,787
2	4,730	3,612	1,652	1,497	2,277	1,070	2,054	2,546	2,254	1,334	2,578	3,002	3,610
3	2,415	2,163	1,809	850	906	1,290	657	1,169	1,289	1,146	879	1,277	1,470
4	1,150	1,153	980	801	539	398	762	391	628	685	586	531	549
5	545	642	528	387	506	291	180	420	262	324	319	322	294
6	276	293	293	214	209	348	152	108	247	166	157	177	159
7以上	337	315	260	234	234	218	354	286	226	264	188	171	103
合計	15,358	10,549	7,483	7,438	6,218	7,087	8,032	8,314	6,714	7,646	9,035	10,532	7,972

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	0.11
2	0.53	0.44	0.41	0.25	0.32	0.24	0.31	0.43	0.43	0.17	0.45	0.46	0.61
3	0.49	0.54	0.56	0.21	0.57	0.28	0.27	0.37	0.38	0.42	0.25	0.59	0.67
4	0.33	0.53	0.68	0.21	0.36	0.54	0.35	0.15	0.41	0.51	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	0.79
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	0.79
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	99	116	41
2	331	253	116	105	160	83	167	177	164	60	191	206	168
3	276	247	206	97	103	148	71	139	158	130	94	132	156
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	60	52
6	65	69	69	50	49	83	36	25	65	32	38	34	39
7以上	103	96	80	72	72	69	111	79	76	68	63	54	31
合計	1,205	1,034	779	610	606	598	622	639	688	515	642	670	555

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	2019
374	34	70	295	184	433	9	0	74
114	166	159	149	1,511	843	190	208	377
350	211	164	149	239	1,564	944	1,082	314
164	172	96	136	134	229	1,043	817	554
64	48	101	99	105	122	129	285	418
53	33	58	85	53	128	117	108	241
37	25	34	43	101	68	43	104	151
1,158	689	683	956	2,326	3,388	2,475	2,604	2,130

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	2019
2,863	3,656	3,836	13,040	13,439	12,084	5,277	9,437	7,115
1,241	1,899	2,817	2,926	9,896	10,304	9,028	4,102	7,350
1,535	866	1,333	2,054	2,147	6,374	7,281	6,864	3,011
586	887	489	893	1,468	1,461	3,584	4,837	4,390
231	311	539	296	576	1,025	936	1,871	3,046
132	123	200	330	143	356	690	615	1,205
92	95	118	166	274	189	251	592	753
6,681	7,837	9,332	19,705	27,942	31,792	27,047	28,317	26,870

補足表2-3. VPAによって推定した漁獲死亡係数（続き）

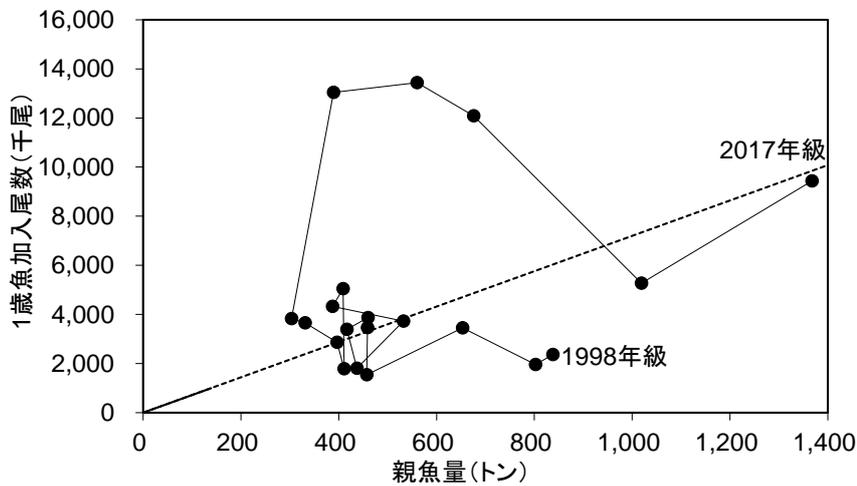
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0.16	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.00	0.00	0.01
0.11	0.10	0.07	0.06	0.19	0.10	0.02	0.06	0.06
0.30	0.32	0.15	0.09	0.14	0.33	0.16	0.20	0.13
0.38	0.25	0.25	0.19	0.11	0.20	0.40	0.21	0.15
0.38	0.19	0.24	0.48	0.23	0.15	0.17	0.19	0.17
0.61	0.36	0.40	0.35	0.54	0.52	0.21	0.22	0.26
0.61	0.36	0.40	0.35	0.54	0.52	0.21	0.22	0.26
0.42	0.26	0.26	0.25	0.32	0.32	0.18	0.17	0.17

補足表2-4. VPAによって推定した資源量（トン、続き）

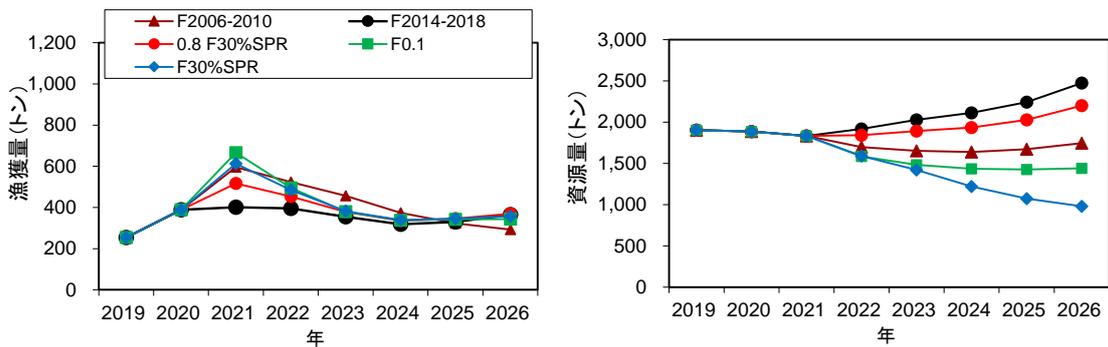
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
66	84	88	298	307	289	131	128	107
71	114	176	196	427	509	457	179	289
139	76	110	210	191	432	534	478	182
74	95	60	117	166	142	361	479	331
41	49	86	53	82	166	134	251	350
28	23	45	73	28	69	125	115	167
28	26	36	49	81	58	76	172	194
446	467	600	996	1,282	1,664	1,819	1,802	1,619

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～2017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7.2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(Fmed)を求めたところ、4歳魚のFは0.346(各年齢平均で0.455)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2018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)。Fcurrent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、2026年には資源量は2,879トンになる。また、漁獲量も同様の傾向を示し、2026年には452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. 1998～2017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、月および海域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、以下のフルモデルを作成した。

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

ここでの記号は次の通りである。

Year: 年 (1973～2019)

Month: 月 (1～3、4～6、9、10～12)

Area: 小海区 (金華山、常磐、房総)

説明変数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。フルモデルから BIC を用いた変数増減法にて変数選択を行った結果、BIC 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 3.6.2 の MuMIn パッケージを用いた (<https://www.R-project.org/>、2020 年 8 月 8 日)。その結果、上記のフルモデルがベストモデルとして選択された。

操業毎の対数 CPUE およびモデルの予測値と実測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、大きな逸脱は観察されなかった（補足図 4-3）。また、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）。ベスト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 CPUE を指数として VPA のチューニングを行った。最近年（2019 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 Ft 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。

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

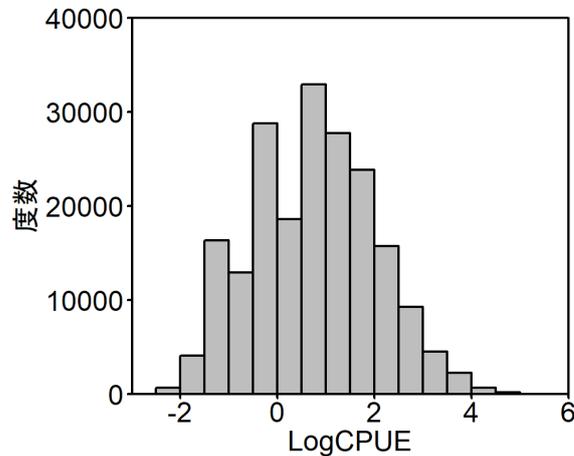
ここで N は資源量、I には 2001～2019 年の沖底金華山～房総海区の標準化 CPUE を用い

た。

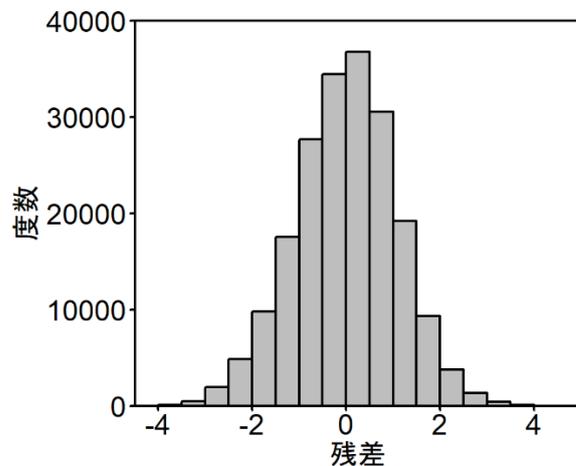
その結果、2019年の資源量は865トンと推定された(補足図4-6)。近年の資源量は2016年の1,264トンをピークとしており、2019年の資源量は最近5年間の中では最も少なかった。資源量の全体的な傾向は沖底網数で補正したVPAの値と類似していたが、近年の資源量値はチューニングVPAの方が低く抑えられている傾向が認められた。本種の主漁場は現在本操業を停止している福島県沖であり、震災以前は福島県沖における漁獲が50%以上を占めていたが、震災後は同海域での操業は試験操業にとどまっている。そのため、ここでは沖底の網数による補正を重視し、標準化CPUEによるチューニング結果は補足資料への記載に留めた。

引用文献

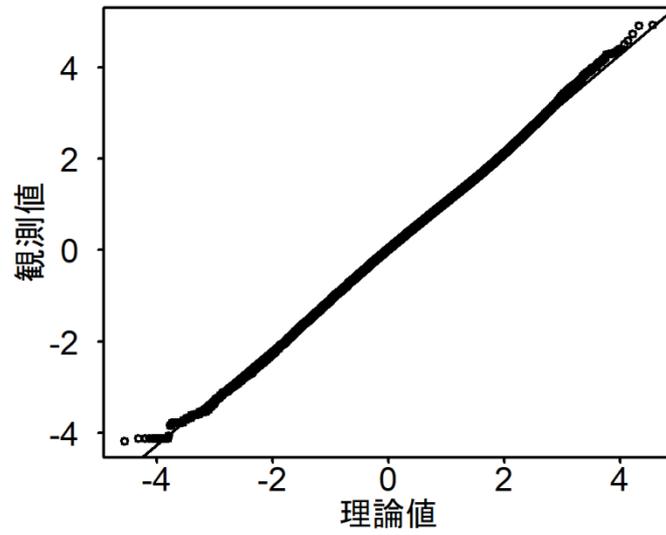
平松一彦(2001)VPA. 平成12年度資源評価体制確立推進事業報告書-資源解析手法教科書-, 日本水産資源保護協会, 104-128.



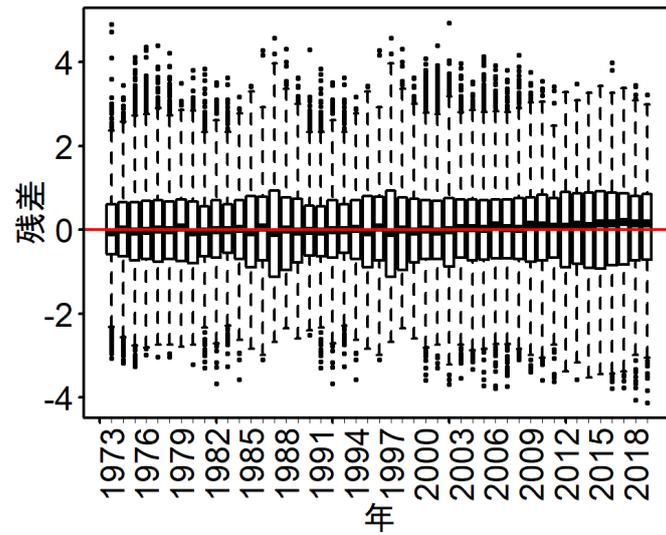
補足図 4-1. 操業毎の LogCPUE (1973 年~2019 年データ)



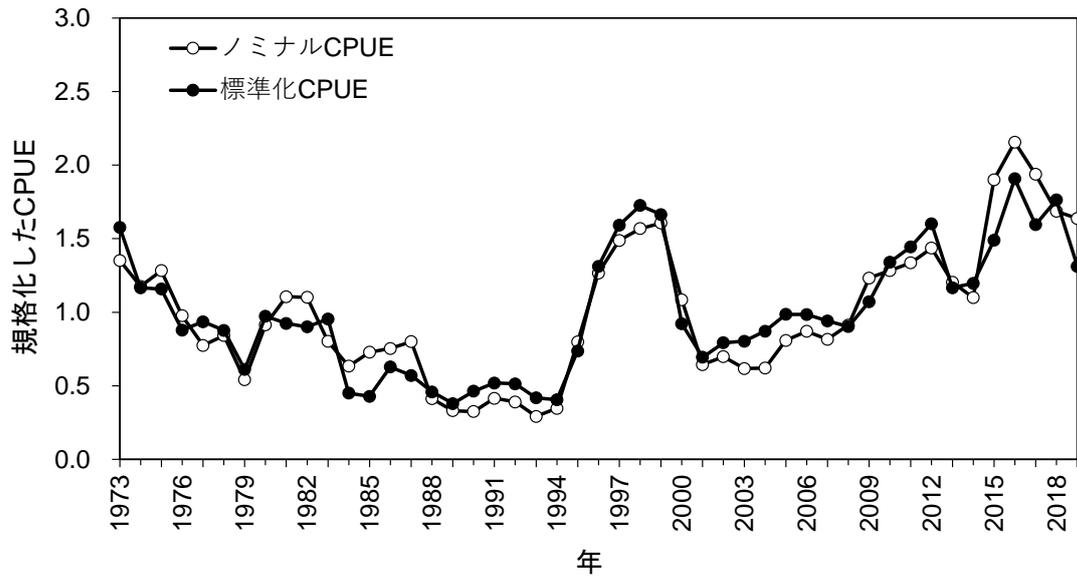
補足図 4-2. モデル予測値と実測値の残差 (1973 年~2019 年データ)



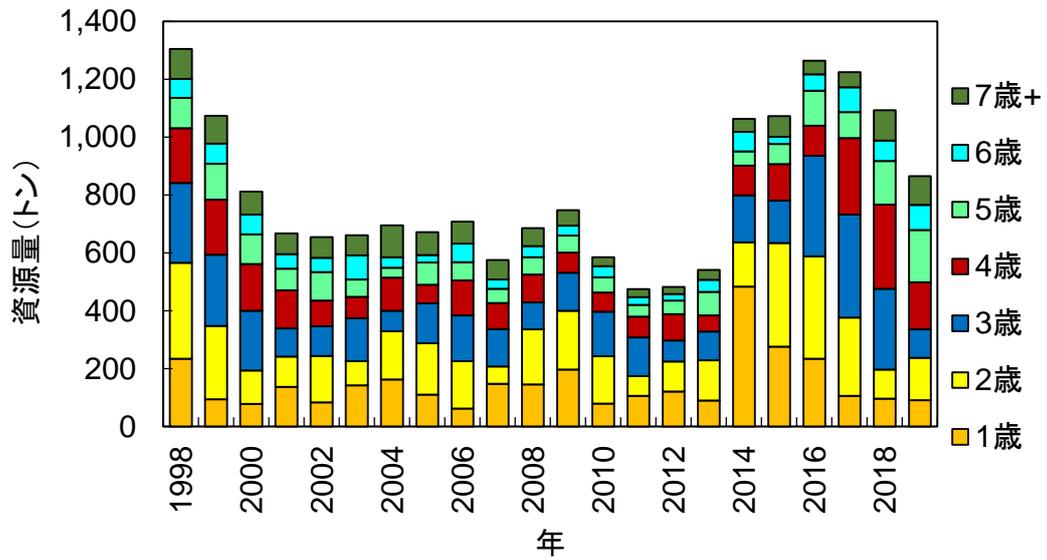
補足図 4-3. 残差ヒストグラムの正規性の確認



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. ノミナル 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