

平成 30（2018）年度ヤナギムシガレイ太平洋北部の資源評価

責任担当水研：東北区水産研究所（成松庸二、柴田泰宙、鈴木勇人、森川英祐、時岡 駿）

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は VPA による資源量推定により評価している。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減少したもののその後増加し、2016 年は 249 トン、2017 年は 229 トンであった。近年は加入がやや少なかったが 2013 年級、2014 年級は多く、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、2019 年 ABC を算出した。

管理基準	Target/Limit	2019 年 ABC (トン)	漁獲割合 (%)	F 値（現状の F 値か らの増減%）
$F_{current}$	Target	318	19	0.26 (-20%)
	Limit	384	23	0.32 (±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 2019 年の漁獲量/資源量である。2018 年以降の加入量は直近 10 年（2008 年～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 (%)
2014	1,071	459	108	0.32	10
2015	1,496	653	162	0.47	11
2016	1,788	1,278	249	0.40	14
2017	1,776	1,650	229	0.23	13
2018	1,782	1,619	349	0.32	20
2019	1,655	1,340	—	—	—

2018、2019 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、2017 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 40cm 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 400m 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 の月別変化を見ると、水深 50～200m が主漁場となっており、CPUE は 4～11 月には水深 120～140m で高く、12～3 月には水深 80～100m 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）。

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

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

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

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

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 100m 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 120mm 以上、雌で 150mm 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が徐々に増加しており、2016年は139トン、2017年は127トンであった。

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下で推移していたが、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、2016年には249トン、2017年には229トンになっている。

(3) 漁獲努力量

沖底の有漁網数は1990年代後半にかけて急増した(図7)。その後は増減を繰り返しながらも減少しているが、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(2017年は暫定で4.7千網)。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1998～2017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2015～2017年には極めて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。

(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。1998 年の後期には全長 15～19cm と 20～25cm に 2 つのモードが認められる。ヤナギムシガレイは 1 歳の後期頃から漁獲加入しており、2 歳の途中で全長 20cm 台前半に達することから、この 2 つのモードは 2 年続けての卓越年級群が発生したことを示している。2003～2005 年の 3 年間は後期に 15～19cm のモードが認められており、比較的安定した加入があった。2006 年には漁獲物に小型魚のモードが認められなかった一方で、2007 年には小さいながらも小型魚のモードが認められ、2008～2010 年にも比較的大きいモードが認められた。また、2001 年以前と比べて 2002 年以降は全長 30cm 以上の個体が若干増加しており、大型個体の個体数が増加していることが示唆されている。2017 年上半期には全長 20cm の個体が非常に多く漁獲され、下半期には全長 23cm をピークとした 21～25cm の個体が多く漁獲されている。

(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、0.66 とやや高くなった。2011 年以降は 0.23～0.47 となっている。なお、F_{current} (2013～2017 年の F 値の平均) は 0.32 であった。資源量は 1998 年の 1,198 トンから減少し、2001～2014 年は 500～1,071 トンで推移していたが、2015 年は 1,496 トン、2016 年は 1,788 トンと増加の傾向が認められ、2017 年には 1,776 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、2017 年には 13% になっている (図 12)。また、1998～2017 年の加入量 (1 歳魚) は 10～494 トンで推移しており、1998～2013 年には 35～135 トンで推移していたが、2014 年には 494 トンと非常に高い値になり、2015 年も 344 トンと高い値になった (図 13、補足表 2-4)。これは 2013 および 2014 年級の仔稚魚期の生き残りが良かったためであると考えられる。ただし、これまでのところ、2016 年および 2017 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)。なお、2013 年級、2014 年級の再生産成功率は高かったが、2016 年級は加入量が少なかったため、極めて低い (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、B_{limit} 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。2017 年は 1,776 トンとなっており、2016 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。最近 20 年間の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（2013～2017 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、将来予測では 2008～2017 年の満 1 歳魚の加入尾数の平均値を用いた（6,121 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 0.28～0.66 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（ $F_{2013-2017}$ ）は $F_{30\%SPR}$ よりも低く（45.8%SPR）、震災前の漁獲圧（ $F_{2006-2010}$ ）や $F_{0.1}$ よりも低い。

5. 2019 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 年級および 2014 年級が多かったこともあり、回復している。2017 年の資源量は非常に多く、また、2013 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。近年まで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いたが、2016 年、2017 年には 1 歳魚が少なく、3、4 歳魚が多い資源構造となっている。今後の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

2019 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。

2018 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、2018 年の漁獲は $F_{current}$ を仮定した。主要な漁場である福島沖での操業が試験操業に留まっていることから、金華山海区～房総海区の沖底の網数を震災前後で求め、2017 年の網数/2005～2009 年の網数を稼働率として 2017 年の各年齢の F に乗じた（補足資料 2）。また、この値を現状の F とした。

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、2018 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（6,121 千尾）。

この条件の漁獲が 2018 年末まで続くと仮定すると、2019 年初期資源量は 1,655 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} =384 トン、 ABC_{target} =318 トンと算出された。

管理基準	Target/Limit	2019 年 ABC (トン)	漁獲割合 (%)	F 値（現状の F 値 からの増減%）
$F_{current}$	Target	318	19	0.26 (-20%)
	Limit	384	23	0.32 (±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 2019 年の漁獲量/資源量である。2018 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、2018 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、2019 年以降の漁獲量、資源量および親魚量は 2019 年が最も高くその後減少する。これは、近年では 2014 年や 2015 年の加入量（1 歳魚）が多かった一方で、2018 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、2024 年の資源量は 1,321 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 2019 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、2024 年の資源量、漁獲量はそれぞれ 1,035 トン、251 トンになる。

管理基準	F 値	漁獲量（トン）							
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0.8F2013-2017	0.26	229	349	318	340	291	239	213	222
F2013-2017	0.32	229	349	384	380	307	248	227	236
F0.1	0.45	229	349	499	429	315	251	239	249
0.8F30%SPR	0.45	229	349	507	431	315	251	239	249
F2006-2010	0.49	229	349	395	385	307	248	227	236
F30%SPR	0.57	229	349	597	450	307	247	243	251
管理基準	F 値	資源量（トン）							
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0.8F2013-2017	0.26	1,776	1,782	1,655	1,671	1,580	1,486	1,402	1,429
F2013-2017	0.32	1,776	1,782	1,655	1,587	1,451	1,354	1,294	1,321
F0.1	0.45	1,776	1,782	1,655	1,441	1,249	1,161	1,134	1,156
0.8F30%SPR	0.45	1,776	1,782	1,655	1,431	1,236	1,150	1,124	1,145
F2006-2010	0.49	1,776	1,782	1,655	1,602	1,451	1,354	1,294	1,321
F30%SPR	0.57	1,776	1,782	1,655	1,318	1,100	1,029	1,020	1,035
管理基準	F 値	親魚量（トン）							
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0.8F2013-2017	0.26	1,650	1,619	1,340	1,355	1,264	1,170	1,086	1,113
F2013-2017	0.32	1,650	1,619	1,340	1,272	1,137	1,039	980	1,006
F0.1	0.45	1,650	1,619	1,340	1,129	937	849	822	843
0.8F30%SPR	0.45	1,650	1,619	1,340	1,119	924	837	812	833
F2006-2010	0.49	1,650	1,619	1,340	1,287	1,137	1,039	980	1,006
F30%SPR	0.57	1,650	1,619	1,340	1,008	790	719	710	725

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
2016 年漁獲量確定値 2017 年漁獲量 2017 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	2016 年漁獲量の確定 2017 年漁獲量の暫定値 2017 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)
2017 年 (当初)	F30%SPR	0.44	1,141	312	259	
2017 年 (2017 年再評価)	F30%SPR	0.44	1,189	279	231	
2017 年 (2018 年再評価)	F30%SPR	0.44	1,776	508	422	229 (0.38)
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	

F 値は各年齢の平均値。漁獲量は暫定値。なお、2017 年 (2018 年再評価) の実際の F 値は、2017 年当時の年齢別の選択率に基づく値である。

2018 年再評価で 2017 年および 2018 年の資源量は増加した。これは、資源尾数が想定よりも多かったことによる。これにより、ABC の値も当初の値よりも増加した。

6. ABC 以外の管理方策への提言

2003 年以降は比較的加入が安定しており、2007 および 2008 年級の加入は多かった。2009 年級以降の年級は若干少なめで、東日本大震災以降の 2011 および 2012 年級は少なかった。2013 年級および 2014 年級は漁獲物に多く見られ、資源量が多いと考えられる (図 10、図 13)。この資源は長期的に見れば卓越年級の発生によって増加すると考えられる。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 年および 2015 年には非常に多くの 1 歳魚が見られた一方で、2016 年、2017 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 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), 339pp, 東海大学出版, 東京.
- 西海区水産研究所 (1957) 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.



図1. 太平洋北部におけるヤナギムシガレイの分布

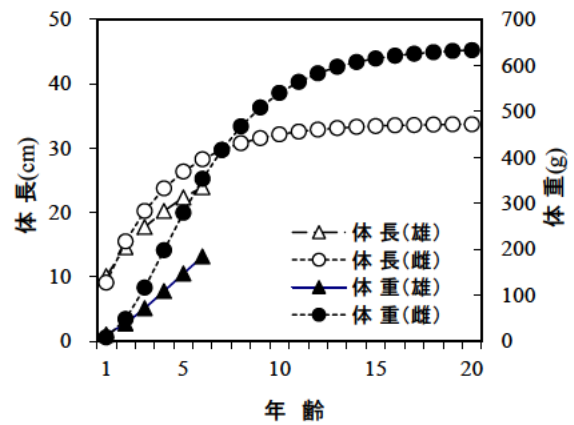


図2. 太平洋北部におけるヤナギムシガレイの成長

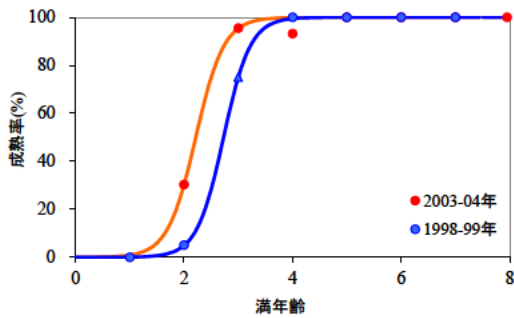


図3. 年齢と成熟率の関係

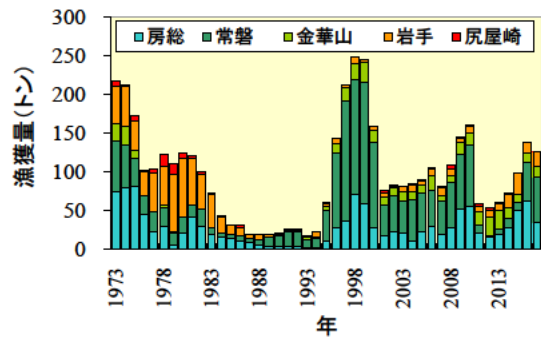


図4. 太平洋北部の沖底による漁獲量の推移 2017年は暫定値。

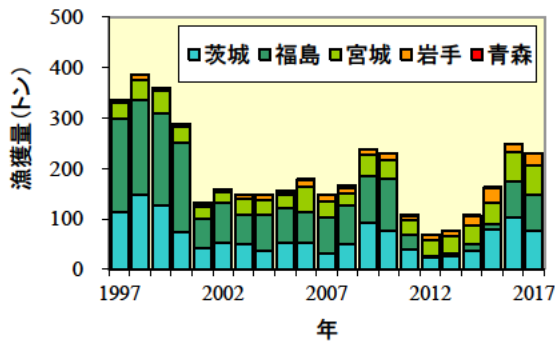


図5. 全漁業種による漁獲量の推移 2017年は暫定値。

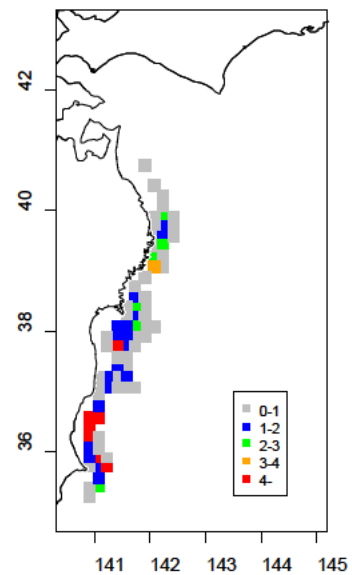


図6. 2016年の沖底の漁獲量分布図 (トン)

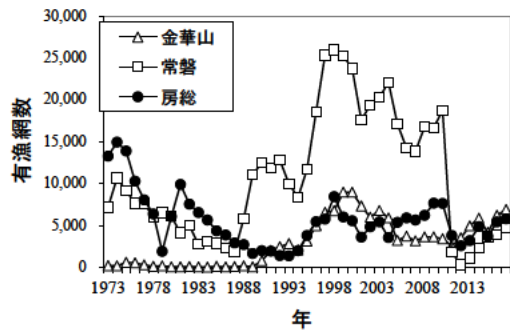


図7. 沖底の漁業努力量の推移
2017年は暫定値。

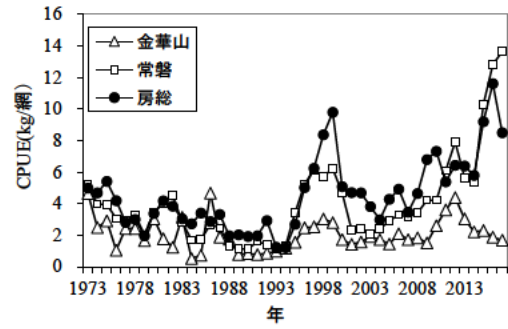


図8. 沖底の海区別CPUE
2017年は暫定値。

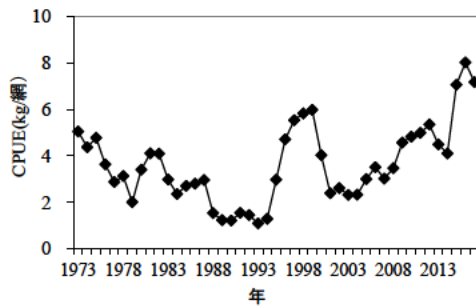


図9. 金華山～房総海区の沖底のCPUE

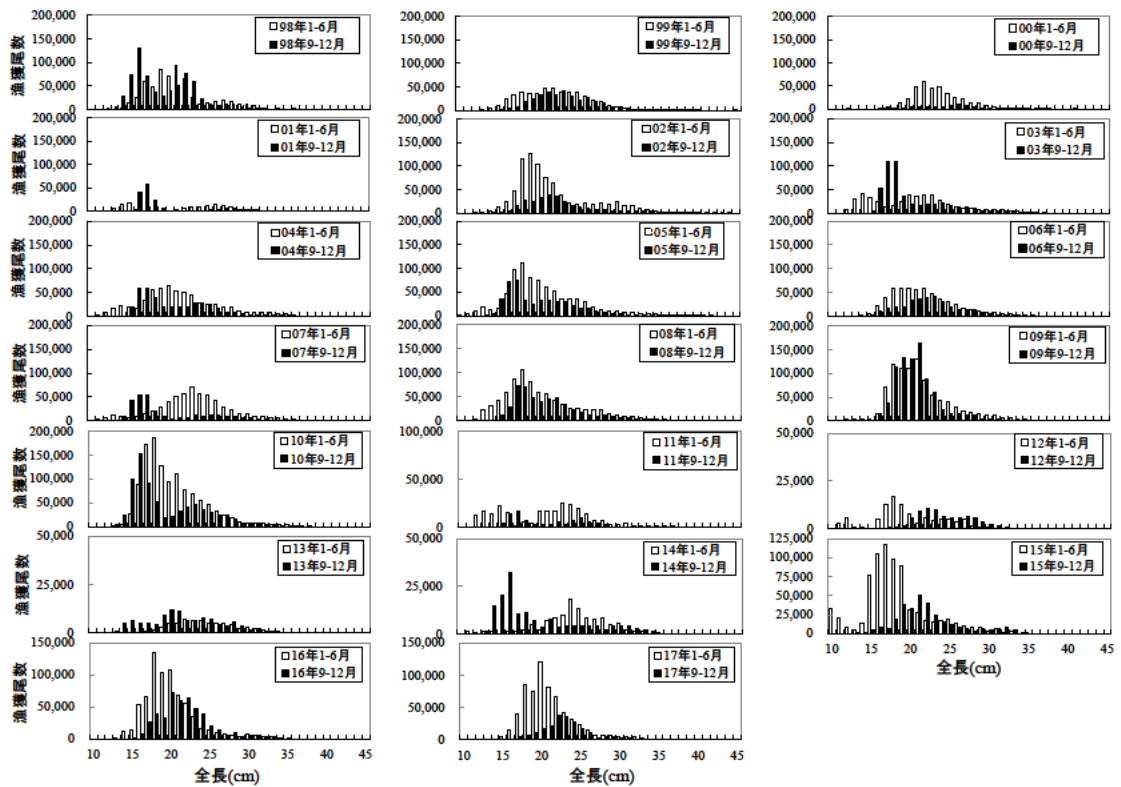


図10. ヤナギムシガレイ漁獲物の年別前後期別の全長組成

1998～2001、2011～2017年は茨城県水揚げ分で、2002～2010年は福島県水揚げ分。

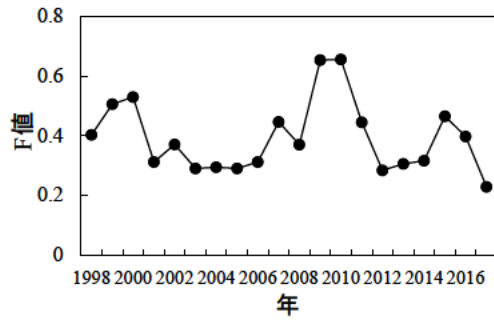


図11. F値（各年齢平均）の推移

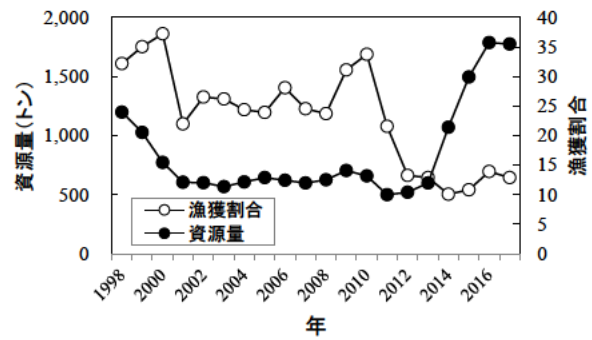


図12. 資源量と漁獲割合の推移

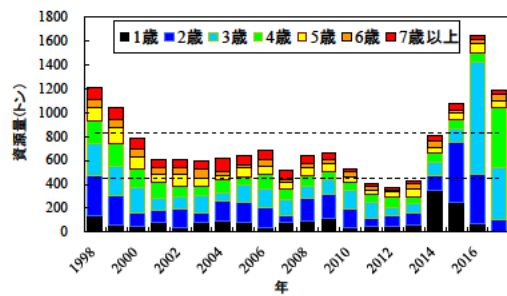


図13. 年齢別資源量の推移
横線は水準の境界を示す。

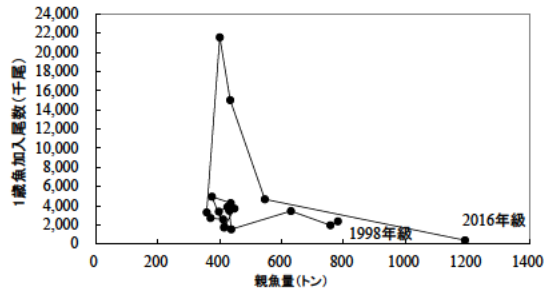


図14. 再生産関係

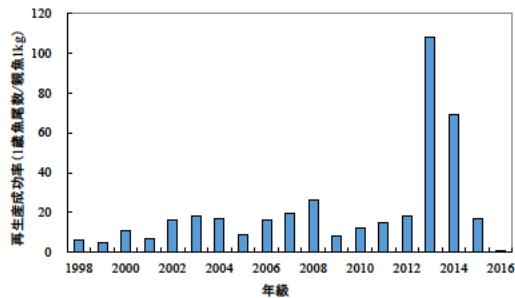


図15. 再生産成功率の推移

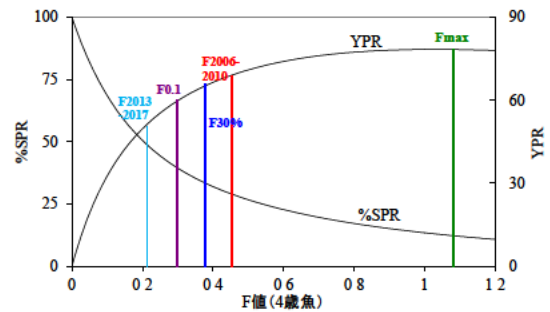


図16. 漁獲係数(F)と%SPRおよびYPR

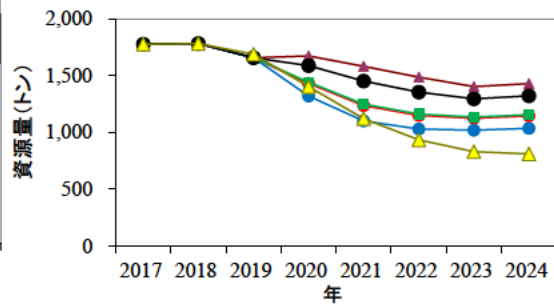
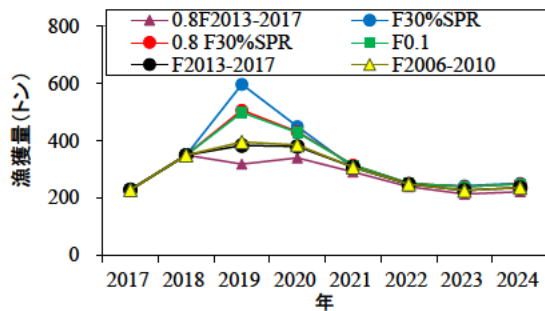


図17. さまざまな管理基準に基づく漁獲量（左図）と資源量（右図）の予測

表1. 県別漁業種類別のヤナギムシガレイの漁獲量(トン) 2017年は暫定値。

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
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	02
	小底	05	03	05	02	03	04	01	01	05	05	0	01	07	03	04	02	01	01	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
	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	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
岩手	沖底	-	41	76	39	43	39	24	62	77	54	91	107	88	58	89	74	86	81	169	266	140	204
	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
	延縄	-	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
	その他	-	01	02	09	07	03	04	10	04	06	06	03	01	01	0	0	0	0	0	04	02	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	137
	小底	128	152	199	185	136	89	93	170	158	104	105	109	117	131	91	60	54	64	205	271	429	434
	刺網	02	03	04	04	12	08	30	12	17	23	199	151	12	137	148	64	32	40	04	07	06	04
	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	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
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	570
	小底	145	268	297	222	360	130	213	158	163	167	139	258	219	212	227	110	0	0	0	204	144	
	刺網	04	19	88	31	315	59	98	12	23	24	07	18	03	09	13	64	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
	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	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	355
	小底	520	770	780	690	450	240	310	285	268	306	236	125	196	221	195	193	63	59	97	292	403	401
	刺網	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
	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	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	1268
	小底	-	1193	1281	1099	949	463	617	614	594	582	480	493	539	567	517	365	118	124	302	563	1036	979
	刺網	-	28	98	40	332	78	142	27	48	57	240	186	41	183	190	135	42	48	19	39	32	26
	延縄	-	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
	その他	-	12	04	13	12	28	11	27	06	21	06	03	04	01	0	0	0	0	25	34	28	19
計	-	336	386	360	288	133	160	149	149	156	179	149	167	219	231	108	69	77	108	162	249	229	

各県水試調べ。2016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用いる(例:宮城=金華山海区、福島=常磐海区)。

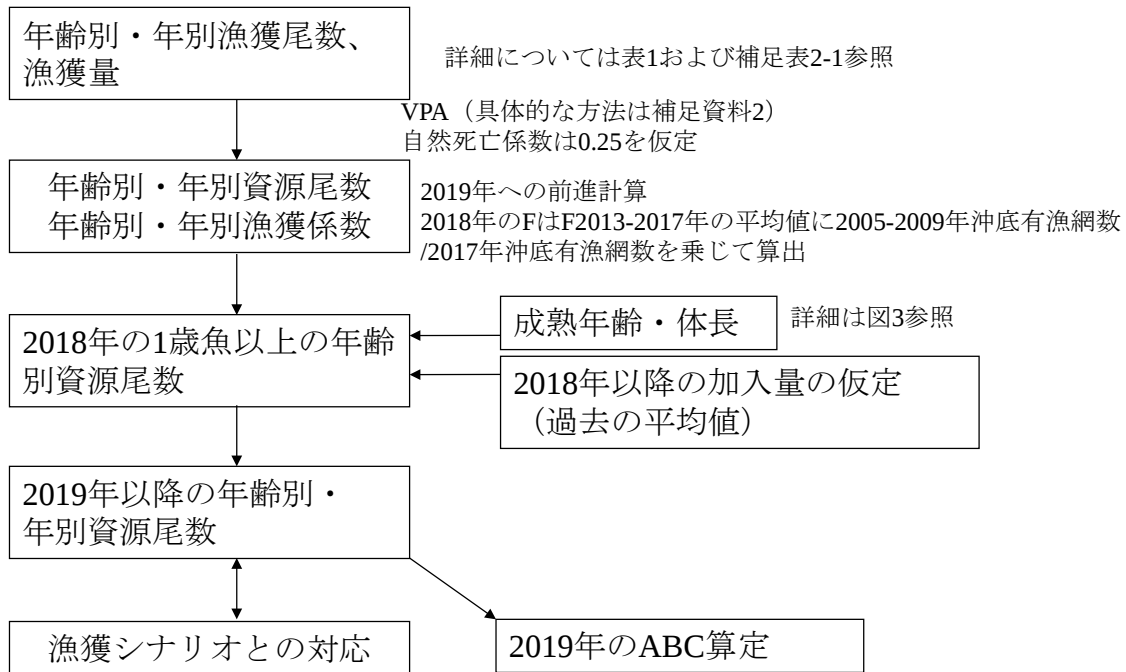
2016、2017年福島県の小底の漁獲量は、福島県の底びき網漁獲量の合計から沖底統計から求めた沖底の漁獲量を引いた値。

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	36	57	14	20	0	127
2017沖底	49	64	12	10	0	135

上の2017は各県水試調べ、下は沖底統計

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、2017 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 30cm 以下の雌雄比は 1:1 とし、7 歳以上、全長 31cm 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 (2017 年)、最高齢 (7 歳、プラスグループ) および最高齢-1 歳魚の資源尾数はそれぞれ以下の式で求めた。

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

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

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

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 齢魚の 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、2017 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 2017 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、2015 年には 3,500 万尾を超えた。2017 年には 2015 年級、2016 年級が少なかったこともあり、2,100 万尾となった（補足表 2-2）。2017 年の資源尾数は過去 5 年の平均レベルであり、特に 3 および 4 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 2016 年と比べると少ないものの、最近 10 年では 2016 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	3,871	3,390	1,796	3,708	4,283	4,941	1,720
2	4,730	3,612	1,651	1,497	2,276	1,070	2,052	2,543	2,249	1,325	2,563	2,967	3,524
3	2,415	2,163	1,808	850	906	1,290	656	1,168	1,288	1,142	872	1,266	1,443
4	1,150	1,153	980	801	539	397	762	390	627	684	583	526	540
5	545	642	528	387	505	291	180	419	262	323	318	320	289
6	276	293	293	214	209	348	152	107	247	166	157	177	157
7以上	337	315	260	234	234	218	354	286	226	264	188	170	102
合計	15,357	10,548	7,482	7,437	6,216	7,083	8,027	8,304	6,695	7,612	8,963	10,367	7,775

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	0.28	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	0.46	0.47	0.63
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	0.69
4	0.33	0.53	0.68	0.21	0.37	0.54	0.35	0.15	0.41	0.52	0.35	0.35	0.63
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	0.56
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	0.81
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	0.81
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	0.66

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	113	39
2	331	253	115	105	159	75	144	178	157	93	179	207	246
3	273	245	205	96	103	146	74	132	146	129	99	143	163
4	186	187	159	130	87	64	124	63	102	111	94	85	88
5	105	124	102	75	97	56	35	81	50	62	61	62	56
6	64	68	68	50	48	80	35	25	57	38	36	41	36
7以上	103	97	80	72	72	67	108	88	69	81	58	52	31
合計	1,198	1,027	773	606	602	568	608	644	623	599	626	704	660

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
374	34	70	295	184	433	9
114	166	159	149	1,511	843	184
350	211	164	149	239	1,564	913
164	172	96	136	134	229	1,008
64	48	101	99	105	122	124
53	33	58	85	53	128	113
37	25	34	43	101	68	41
1,158	689	683	956	2,326	3,388	2,391

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
2,575	2,713	3,303	21,575	15,020	4,677	398
1,189	1,675	2,082	2,511	16,543	11,535	3,260
1,468	825	1,158	1,482	1,824	11,550	8,240
565	835	457	757	1,022	1,209	7,615
224	295	498	271	470	678	740
129	118	188	298	124	273	420
90	91	111	150	237	145	153
6,240	6,551	7,798	27,045	35,239	30,069	20,826

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
0.18	0.01	0.02	0.02	0.01	0.11	0.02
0.12	0.12	0.09	0.07	0.11	0.09	0.07
0.31	0.34	0.17	0.12	0.16	0.17	0.13
0.40	0.27	0.27	0.23	0.16	0.24	0.16
0.39	0.20	0.26	0.53	0.29	0.23	0.21
0.63	0.38	0.44	0.39	0.66	0.76	0.36
0.63	0.38	0.44	0.39	0.66	0.76	0.37
0.45	0.28	0.31	0.32	0.47	0.40	0.23

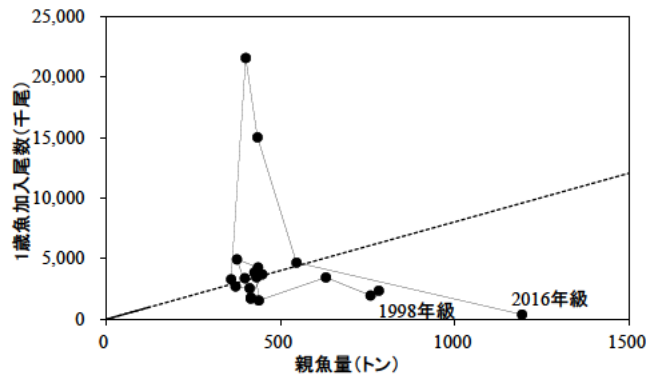
補足表2-4. VPAによって推定した資源量（トン、続き）

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
59	62	76	494	344	112	10
83	117	146	168	714	569	165
166	93	131	151	162	782	605
92	135	74	99	116	117	768
43	57	96	48	67	110	106
30	27	43	66	24	53	76
28	28	34	44	70	44	47
500	520	600	1,071	1,496	1,788	1,776

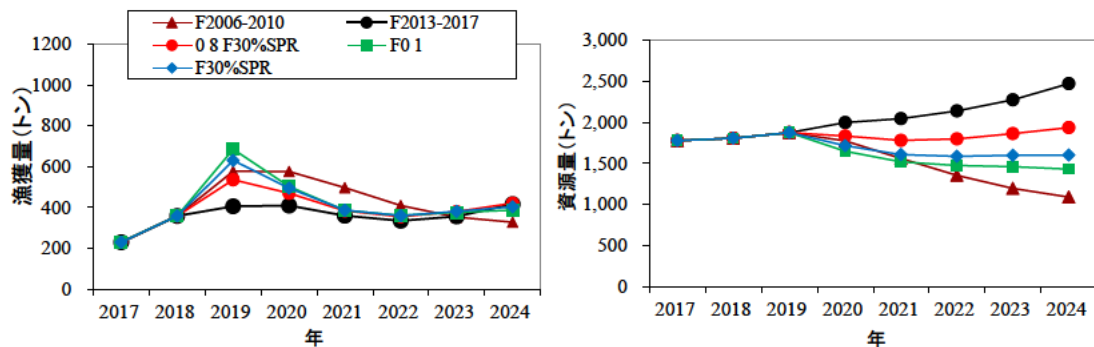
注）資源尾数に各年各年齢の平均体重（5-6月）を乗じたもの。
性比は1:1と仮定し、7歳魚以上の個体はすべて雌とした。

補足資料 3 再生産関係を用いた漁獲量、資源量予測

1998 年級～2015 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 6.9 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 0.361（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 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、資源量は緩やかながらも増加し、2024 年には資源量は 2,472 トンになる。また、漁獲量も同様に増加し、2024 年には 417 トンになる。0.8 $F_{30\%SPR}$ で漁獲すると資源量はほぼ横ばいで推移するが、 $F_{2006-2010}$ 、 $F_{0.1}$ および $F_{30\%SPR}$ で漁獲すると資源量は増加し、漁獲量も 2019 年をピークに減少傾向となる。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 標準化した沖底 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～房総海区の沖底 CPUE の標準化を行った。分析には本種の有漁網データを用いた。モデルの誤差分布は正規分布に従うと仮定し、対数化したヤナギムシガレイのノミナル CPUE（＝総漁獲量/騒動力量）を応答変数として採用した。説明変数には、年、月、県、海区、水深および狙い操業とそれらの交互作用を用い、すべてカテゴリカル変数として扱った。フルモデルは AIC による変数増減法にて変数選択を行い、AIC が最も低くなるものをベストモデルとして選択した。

その結果、以下の式がベストモデルとして選択された。

$$\text{LogCPUE} = \text{Year} + \text{Year} * \text{Month} + \text{Year} * \text{Area} + \text{Year} * \text{Depth} + \text{Year} * \text{TE} + \\ \text{Month} * \text{Area} + \text{Month} * \text{Depth} + \text{Area} * \text{Month} + \text{Area} * \text{TE} + \text{Depth} * \text{TE} + \text{intercept}$$

ここでの記号は次の通りである。

Year: 年（1973～2017）

Month: 月（1～3、4～6、7～9、10～12）

Area: 小海区（金華山～房総）

Depth: 漁区毎の水深（≥200m、<200m）

Pref: 漁船毎の属県（宮城県～千葉県）

TE:狙い操業

狙い操業は Biseau(1998)に従い、年毎に日別船別の操業をヤナギムシガレイの漁獲量割合が高い順に並べ、上からの累積が 75%までを狙い操業、75%以下を非狙い操業として扱った。

対数化 CPUE 実測値とモデルの残差は概ね正規分布に従っていた（補足図 4-1、4-2）。正規確率図では上方にて逸脱が観察されたが、それらのデータ数がしめる割合は低かった（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）。このモデルを用いて沖底の標準化 CPUE を求めたところ、ノミナル CPUE と類似したトレンドを示していた（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（2017 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。

$$\sum_y (I_y - qN_y)^2 \quad (1)$$

また、 $\hat{q}$ の推定値は (2)式で解析的に求めた。

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

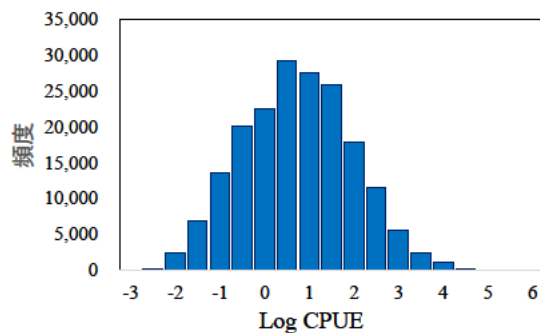
ここで N は資源量、 I には 2001～2017 年の沖底金華山～房総海区の CPUE を用いた。

その結果、2017 年の資源量は 1,193 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いた。本チューニングに用いた標準化 CPUE のモデルは、多くの底魚類に汎用的に当てはめることを目的としたものであり、標準化による補正の妥当性や狙い操業と非狙い操業の区分の妥当性に関する検討は十分になされていない。そのため、ここでは補足資料への記載に留めた。

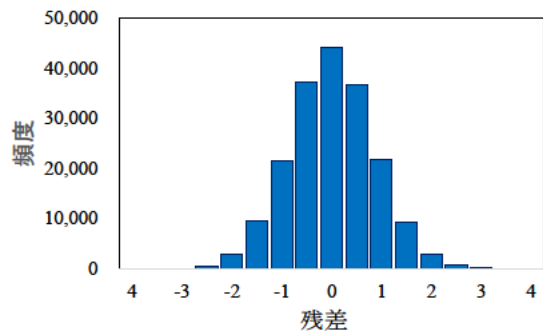
引用文献

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

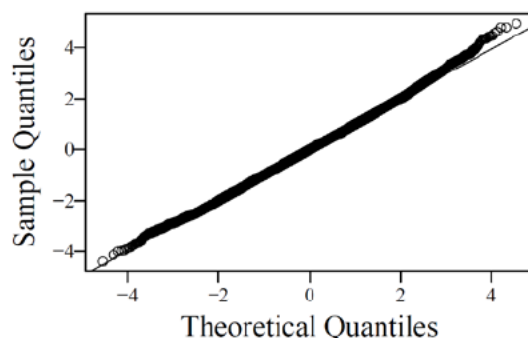
平松一彦（2001）VPA. 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書。一資源解析手法教科書一, 104-128.



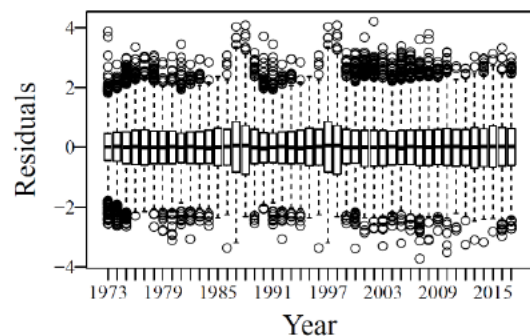
補足図 4-1. 操業毎の LogCPUE（1973～2017 年データ）



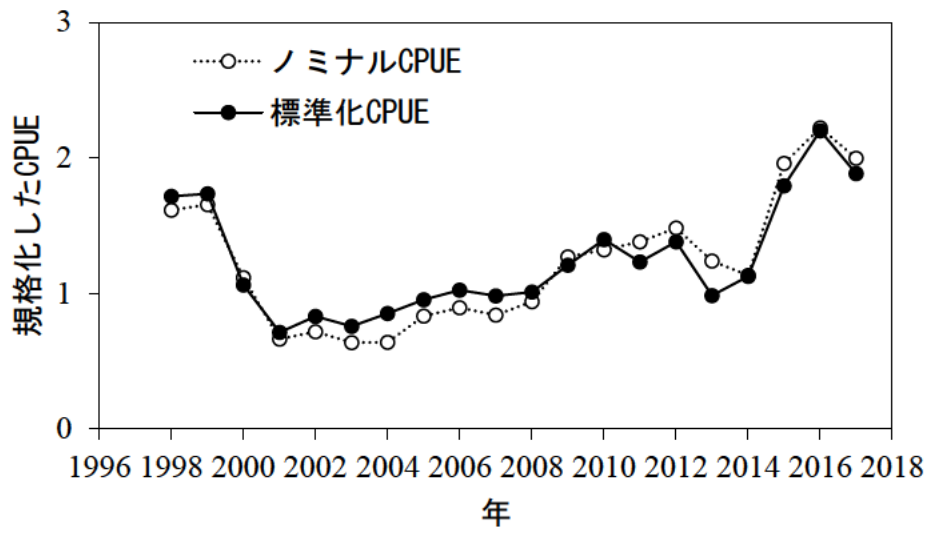
補足図 4-2. モデル予測値と実測値の残差（1973～2017 年データ）



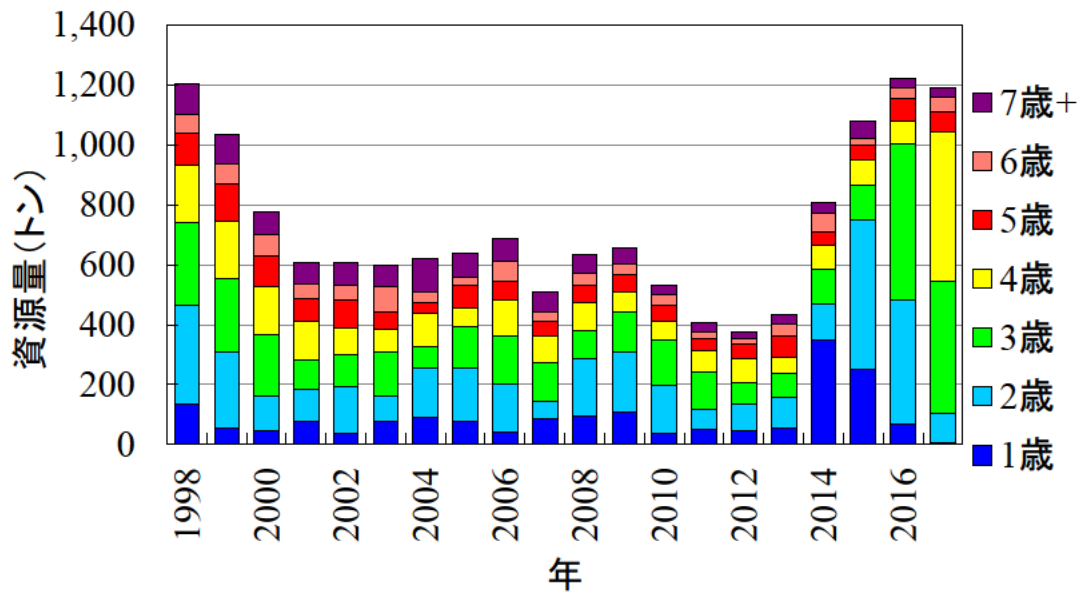
補足図 4-3. ヒストグラムの正規性の確認



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