

仙台湾における東日本大震災後のマコガレイの資源状況について

鈴木 貢治*・矢倉 浅黄*

Resources Status of *Pleuronectes yokohamae* in Sendai bay after the 2011 Great East Japan Earthquake

Mitsuharu SUZUKI*¹, Asagi YAGURA*¹

キーワード：漁獲死亡係数，資源尾数，YPR，SPR

マコガレイは宮城県沿岸域の重要な漁獲対象種であり，牡鹿半島以南の仙台湾では刺網と小型底曳網による漁獲がほとんどを占めている。仙台湾の水揚量の推移(1995年～2016年)をみると，概ね200トン台で推移しているが，特徴的なのは2000年～2005年にかけての減少，2011年3月に起きた東日本大震災(以下震災と言う)以降の増加である(図1)。佐伯ら¹⁾は宮城県牡鹿半島以北と牡鹿半島以南のマコガレイの成長及び産卵時期について差がみられることを報告し，牡鹿半島以北と以南で異なる繁殖集団を形成し，相互に隔離されている可能性を示唆している。ここでは，2012年～2017年までの資源調査の結果から，牡鹿半島以南の仙台湾における震災以降のマコガレイの資源状況について考察した結果を報告する。

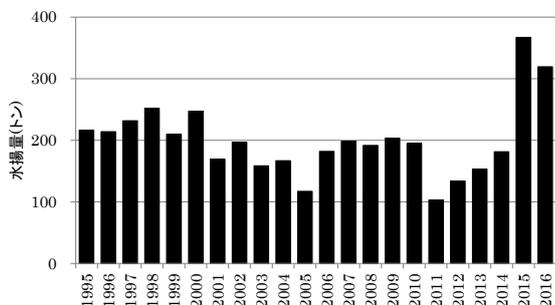


図1 仙台湾のマコガレイ魚市場別水揚量の推移

材料と方法

1 魚市場全長測定

2012年～2017年にかけて石巻魚市場に水揚げされ

たマコガレイの一部をランダムに抽出して全長測定調査を毎月10回～20回程度行った。

2 資源解析

(1) 資源尾数の推定

2012年～2017年の各年の年齢別漁獲尾数を，耳石による年齢査定と全長の関係から得られた Age-Length-Key と石巻魚市場の刺網，底曳網の全長および各魚市場の水揚量から推定した。全長組成データが無い牡鹿，塩釜，七ヶ浜(花浜)，閑上，亘理は，石巻の水揚量と各魚市場の水揚量の比を石巻魚市場の年齢別漁獲尾数に乗じて算出した。また，震災直後でサンプル数の少ない2012年の年齢別漁獲尾数は，2013年の Age-Length-Key を用い(表1)，2013年～2017年は佐伯ら²⁾に準じ成長停滞期の1月～5月，最も成長する6月～7月，再び成長が停滞する8月～12月までの3期に分けて1年毎に作成した Age-Length-Key で推定した。なお，年齢の起算日は1月1日とした。

これにより得られた年齢別漁獲尾数から Pope の近似式による後退法のシングルコホート解析により各年，各年齢の漁獲死亡係数と資源尾数を算出した。6歳以上の漁獲尾数は6歳にまとめて処理し，ターミナル F の設定は，以下に示す平松の方法³⁾により決定した。

1) 2017年6歳の漁獲死亡係数($F_{6,2017}$)に適切な値を仮定する。

年の3ヶ年平均値と等しいと仮定し $F_{5,2017} = (F_{5,2014} + F_{5,2015} + F_{5,2016})/3$ とする。

7) 6) で求められた $F_{5,2017} = F_{6,2017}$ として、再び2) 以下を繰り返し、 $F_{5,2017}$ と $F_{6,2017}$ が等しくなるまで計算を繰り返す。

8) $F_{4,2017}$ から $F_{1,2017}$ までの若齢の漁獲死亡係数をそれぞれ2014年から2016年の3ヶ年の平均値とする。また、自然死亡係数は、佐伯ら²⁾に準じ雄の寿命を8歳、雌の寿命を12歳として、田中の方法⁴⁾(2.5/寿命)によって算出した。なお、 $N_{a,y}$ 、 $F_{a,y}$ 、 $C_{a,y}$ はそれぞれ、a歳、y年の資源尾数、漁獲死亡係数、漁獲尾数を示す。

(2) 資源診断

資源診断は加入量あたりの漁獲量(YPR)および加入量あたりの産卵量(SPR)の2つの方法によって行った。全長と年齢および全長と体重の関係式は、2013年～2017年のAge-Length-Key作成に使用したサンプルにより求めた。漁獲死亡係数は、コホート解析で求めた2012年級の1歳～6歳までの資源尾数から対数回帰法によって全減少係数(Z)を算出し、田中の方法により求めた自然死亡係数(M)を差引いて求めた。

1) 加入あたりの漁獲量(YPR)

加入1個体あたりの生涯にわたる漁獲量を計算し、等漁獲量曲線による資源診断を行った。

$$YPR = \int_{t_c}^{t_d} N_t F W_t dt / R$$

$$= F W_{\infty} \exp\{-M(tc - tr)\} \times \sum_{n=0}^3 \Omega_n \exp\{-nK(tc - to)\}$$

$$\times \{1 - \exp[-(F + M + nK)(td - tc)]\} / [F + M + nK]$$

N_t : 時間 t の資源尾数, F : 漁獲死亡係数, W_t : 時間 t の個体重, R : 加入尾数, W_{∞} : 最大の体重, $\Omega_0=1$, $\Omega_1=-3$, $\Omega_2=3$, $\Omega_3=-1$, M : 自然死亡係数, K : 成長係数, to : 形式上の全長0時の年齢, tc : 漁獲開始年齢, tr : 漁獲加入年齢, td : 寿命を用い、等漁獲量曲線を作成し、診断を行った。

2) 加入量あたりの産卵量(SPR)

加入1個体あたりの生涯にわたる産卵数を成熟年齢2歳として計算した。資源診断に当たっては全く漁業の行われていない時の産卵量を100とした相対百分率と漁獲死亡係数との関係に表し診断を行った。なお、成熟率は2歳以上で全て1とした。

$t_m \geq t_c$ の場合 ($2 \geq t_c$)

$$SPR = \int_{t_m}^{t_{max}} N_t W_t dt / R$$

$$= \int_{t_m}^{t_{max}} \exp\{-M(tc - tr)\} \exp\{-(F + M)(tm - tc)\} \exp\{-(F + M)(t - tm)\} W_t dt$$

$$= W_{\infty} \exp\{-M(tc - tr) - (F + M)(tm - tc)\}$$

$$\sum_{n=0}^3 \Omega_n \exp\{-nK(tm - to)\}$$

$$\times \frac{\{1 - \exp\{-(F + M + nK)(t_{max} - tm)\}\}}{F + M + nK}$$

$t_m < t_c$ の場合 ($2 < t_c$)

$$SPR = \int_{t_m}^{t_{max}} N_t W_t dt / R$$

$$= \int_{t_m}^{t_c} \exp\{-M(tm - tr)\} \exp\{-M(t - tm)\} W_t dt$$

$$+ \int_{t_c}^{t_{max}} \exp\{-M(tc - tr)\} \exp\{-(F + M)(t - tc)\} W_t dt$$

$$= W_{\infty} \exp\{-M(tm - tr)\} \sum_{n=0}^3 \Omega_n \exp\{-nK(tm - to)\}$$

$$\times \frac{\{1 - \exp\{-(M + nK)(tc - tm)\}\}}{M + nK}$$

$$+ W_{\infty} \exp\{-M(tc - tr)\} \sum_{n=0}^3 \Omega_n \exp\{-nK(tc - to)\}$$

$$\times \frac{\{1 - \exp\{-(F + M + nK)(t_{max} - tc)\}\}}{F + M + nK}$$

(t_m : 成熟年齢, t_{max} : 最高年齢)

結果

1 魚市場全長測定調査

図2に2012年～2017年の石巻魚市場に水揚された各年の全長測定結果(小型底曳網)を示した。各年を通じ水揚されたマコガレイは、全長20cm未満は僅かで、ほとんどが20cm以上となっており、漁獲は20cm台後半から30cm以上で多くなっていた。年齢組成は2歳から4歳魚が主体であった。2012年～2017年に漁獲加入した20cm未満の1歳魚の割合は3%以下であった。

2 資源解析

(1) 資源尾数の推定

各年の年齢別漁獲尾数を雄・雌別にそれぞれ示した(表2-1, 表3-1)。また、年齢別漁獲尾数からコホート

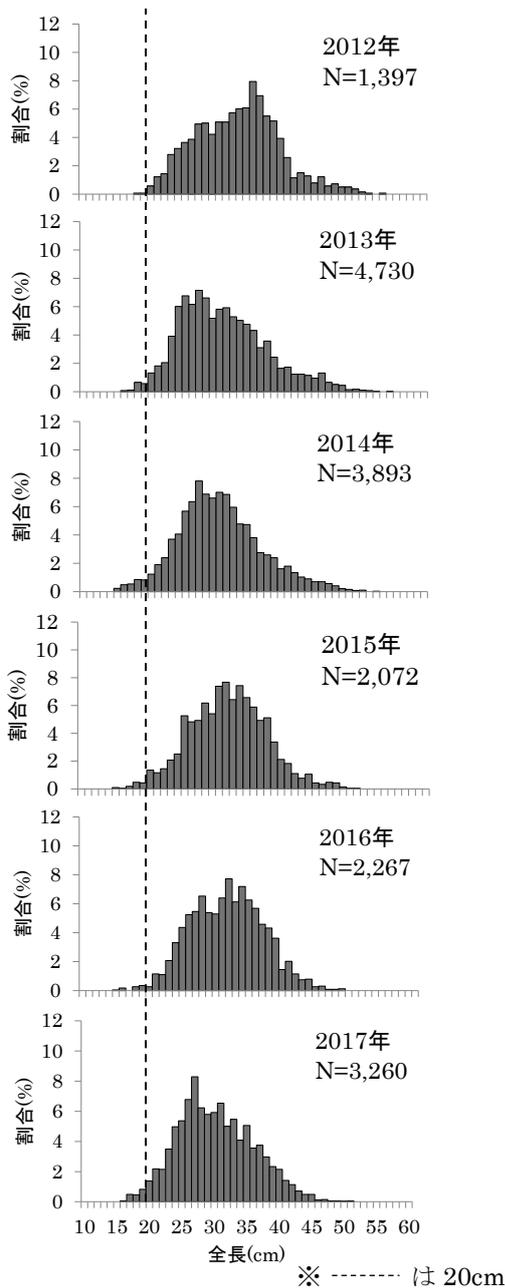


図2 魚市場全長測定調査結果
(石巻魚市場 小型底曳網)

解析により推定された漁獲死亡係数(表 2-2, 表 3-2), 漁期始めの資源尾数(表 2-3, 表 3-3)を雄, 雌別にそれぞれ示した。

雄, 雌を合計し 1 歳魚の初期資源尾数の推移をみると, 2012 年~2015 年は 181 万尾~244 万尾で推移し, 2016 年は 400 万尾と増加していた。2017 年は 867 万尾と, 震災前に調査が行われた 1996 年~2001 年の間で最も多い初期資源尾数 191 万尾²⁾をはるかに上回っていた。

1 歳~6 歳までの資源尾数合計値は 2012 年~2016 年は 537 万尾~749 万尾と, いずれの年も震災前に調査が行われた 1996 年~2001 年の資源尾数²⁾と比べて

増加がみられた。2017 年の資源尾数は 1,379 万尾となり, 1996 年~2001 年の資源尾数合計値 130 万尾~322 万尾で最も多い 1996 年の 322 万尾を大幅に上回る増加がみられた。

表2-1 年齢別漁獲尾数(雄)

	千尾					
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
1歳	11.4	39.7	18.2	21.5	33.2	79.2
2歳	12.6	29.0	38.1	55.3	32.7	61.8
3歳	23.5	42.9	40.5	99.0	67.0	60.6
4歳	24.4	27.7	33.4	53.0	71.9	58.1
5歳	8.8	9.8	11.5	51.4	55.2	55.4
6歳	4.4	3.5	2.5	32.7	10.5	14.6
計	85.1	152.6	144.2	312.8	270.5	329.6

表2-2 推定された漁獲死亡係数(雄)

	千尾					
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
1歳	0.020	0.049	0.025	0.034	0.032	0.030
2歳	0.039	0.071	0.068	0.112	0.075	0.085
3歳	0.127	0.206	0.152	0.287	0.219	0.219
4歳	0.087	0.246	0.279	0.347	0.401	0.342
5歳	0.087	0.051	0.172	1.134	0.891	0.732
6歳	0.087	0.051	0.172	1.134	0.891	0.732

表2-3 推定された漁期始めの資源尾数(雄)

	千尾					
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
1歳	688.0	973.6	854.0	748.9	1,251.7	3,102.3
2歳	382.5	493.6	678.4	609.2	529.6	887.3
3歳	230.6	269.1	336.3	463.8	398.4	359.5
4歳	344.4	148.6	160.1	211.4	254.6	234.2
5歳	123.0	231.0	85.0	88.6	109.4	124.8
6歳	60.8	82.4	160.7	52.4	20.9	32.8
計	1,829.2	2,198.3	2,274.5	2,174.3	2,564.5	4,740.9

表3-1 年齢別漁獲尾数(雌)

	千尾					
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
1歳	15.6	49.2	20.8	22.1	52.6	123.0
2歳	39.5	67.0	88.3	19.3	98.3	165.1
3歳	40.9	56.5	135.1	89.7	103.3	103.5
4歳	74.0	68.1	57.1	203.4	180.9	100.6
5歳	21.4	17.6	30.7	109.9	64.3	125.2
6歳	16.7	13.7	21.2	79.5	27.4	28.3
計	208.1	272.2	353.2	523.9	526.9	645.8

表3-2 推定された漁獲死亡係数(雌)

	千尾					
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
1歳	0.015	0.038	0.030	0.023	0.021	0.025
2歳	0.075	0.086	0.090	0.035	0.139	0.088
3歳	0.103	0.148	0.251	0.125	0.267	0.214
4歳	0.150	0.251	0.221	0.752	0.400	0.458
5歳	0.058	0.048	0.173	0.885	0.574	0.544
6歳	0.058	0.048	0.173	0.885	0.574	0.544

表3-3 推定された漁期始めの資源尾数(雌)

	千尾					
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
1歳	1,134.4	1,463.6	791.4	1,062.9	2,747.4	5,563.3
2歳	605.4	907.0	1,144.0	623.7	843.1	2,183.3
3歳	464.2	456.0	676.0	849.3	489.1	595.9
4歳	590.7	340.1	319.3	427.2	608.8	304.0
5歳	420.8	413.0	214.7	207.8	163.6	331.3
6歳	328.1	322.4	319.5	146.7	69.7	74.8
計	3,543.8	3,902.0	3,464.9	3,317.6	4,921.5	9,052.6

(2) 資源診断

1) 漁獲死亡係数の推定

2012 年級の 1 歳~6 歳までの資源尾数の推移から, 資源尾数と年齢の関係は, 雄 $\ln(N) = 14.0 - 0.453t(R^2 = 0.981)$, 雌 $\ln(N) = 14.6 - 0.463t(R^2 =$

0.910), N: 尾数, t: 年齢と表され, 雄の全減少係数(Z)は 0.453, 雌の全減少係数(Z)は 0.463 となった。漁獲死亡係数(Z-M)は雄が 0.140, 雌が 0.254 となった。

2) 加入量あたりの漁獲量(YPR)による資源診断

資源診断に用いた資源特性値を表 4 に示した。これら得られた結果を図 3 の等漁獲量曲線に示した。雄では加入量あたり漁獲量の最大が 193g に対し, 現状は 92g となり, 漁獲開始年齢を 3.5 歳まで上げ, 漁獲強度を強めれば漁獲量が増加することが示された。雌では漁獲量の最大が 341g に対し, 現状では 235g となり, 漁獲開始年齢を 4.5 歳まで上げ, 漁獲強度を強めれば漁獲量が増加することが示され, 雄, 雌とも漁獲開始年齢の引き上げと漁獲強度のアップが有効と診断された。

表 4 マコガレイの資源特性値

雄	
全長(TL: cm)と年齢(t)の関係	$TL = 39.4 [1 - \exp \{-0.469 (t - 0.127)\}]$
全長(TL: cm)と体重(W: g)の関係	$W = 0.0119TL^3$ ($W_{\infty} = 728g$)
加入年齢(歳)	1.5
寿命(歳)及び成熟の最高年齢	8
全減少係数(Z)	0.453
自然死亡係数(M)	0.313
漁獲死亡係数(F)	0.140
雌	
全長(TL: cm)と年齢(t)の関係	$TL = 45.5 [1 - \exp \{-0.376 (t - 0.052)\}]$
全長(TL: cm)と体重(W: g)の関係	$W = 0.0126TL^3$ ($W_{\infty} = 1,187g$)
加入年齢(歳)	1.5
寿命(歳)及び成熟の最高年齢	12
全減少係数(Z)	0.463
自然死亡係数(M)	0.208
漁獲死亡係数(F)	0.254

3) 加入量あたりの産卵量(SPR)による資源診断

図 4 に等産卵量曲線を示した。マコガレイ雌の漁獲死亡係数は 0.254(年間生残率 62.9%)で現状では漁業が行われていない時の 34.1%と算出された。加入量あたりの産卵量の基準としては, 漁業が行われていない時の産卵量を 100%とした場合 20%~40%の産卵量(20%SPR~40%SPR⁵⁾)を残すことが推奨されている。今回の結果では 30%SPR を示していることから, 現状

で産卵量は十分確保されているものと考えられた。

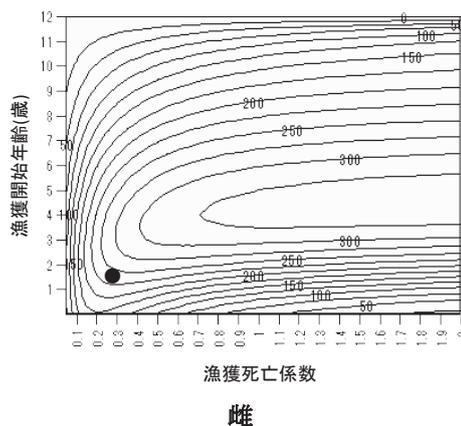
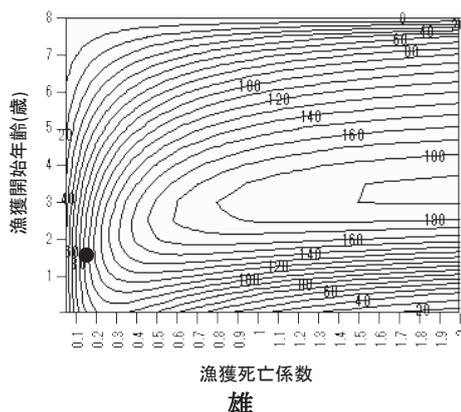


図 3 等漁獲量曲線(単位: g ●は現状点)

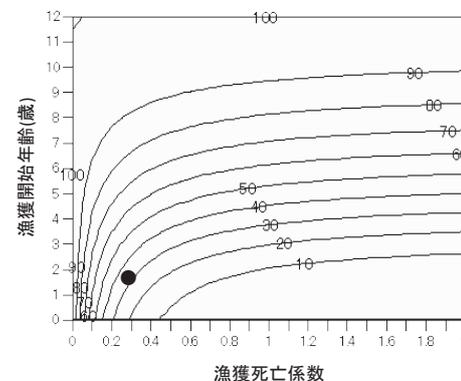


図 4 等産卵量曲線(単位: % ●は現状点)

考 察

仙台湾を中心とする宮城県のマコガレイの漁獲量は, 2000 年まで 300 トン台の漁獲量を示していたが, それ以降減少し 2005 年には 150 トンまで低下した。これら状況を踏まえ産卵親魚の保護等漁業者による自主的な資源管理が行われたほか, 2008 年 2 月には資源回復計画を策定し, 操業区域規制(保護区設定)等の取組みや休漁, 刺網目合規制, 産卵後親魚(通称ガツバ)の再放流等が行われた。これらの取組み後, 漁獲量は回復傾向を示していた⁶⁾。2011 年 3 月に起きた東日本大震災に

より漁獲努力量が減少したこともあり、2011年～2012年は漁獲量の減少がみられたが、近年では大幅な漁獲量の増加が見られている。

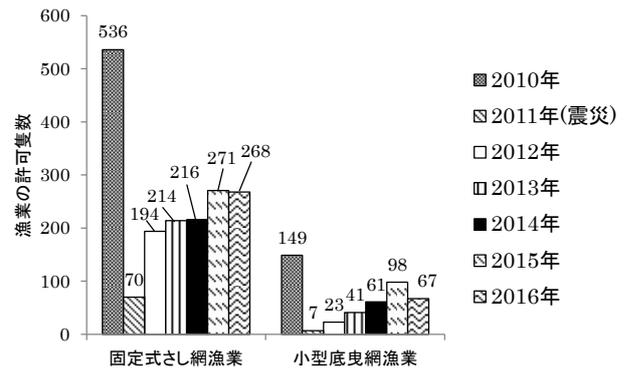
佐伯ら²⁾は震災前の1996年～2001年までのマコガレイの資源状況を解析し、漁獲加入以降に強い漁獲圧が加わっていることから、加入量あたりの漁獲量(YPR)による資源診断では雄、雌とも漁獲開始年齢を上げれば、漁獲量が増加することを指摘していた。震災後の今回の解析結果からも同様の結果が得られたが、漁獲サイズは佐伯ら²⁾が報告した結果より、大型化していた。すなわち、調査が行われた1997年の石巻、亶理魚市場での全長測定では、小型底曳網で漁獲された20cm未満の1歳魚の割合は10%～30%以上を示していたが、石巻魚市場で実施した2012年～2017年の全長測定調査結果(小型底曳網)では、漁獲加入した20cm未満の1歳魚の割合は3%以下となり、1997年の調査結果よりも20cm未満の漁獲割合は大幅に減少し、2歳魚以上の漁獲が主体となっていた。

これらマコガレイの水揚状況について、仙台湾の刺網や小型底曳網漁業を所管する宮城県漁業協同組合の関係支所へ聞き取りを行ったところ、震災以前から実施している刺網の網目規制やガツパ(産卵後親魚)の再放流を震災後も継続しており、刺網、小型底曳網とも20cm未満の小型魚は、ほとんど漁獲していないとのことであった。

さらに、佐伯ら²⁾は震災前の加入量あたりの産卵量(SPR)による資源診断を行ったところ、10.3%SPR(相対値)と試算され、資源の維持・増大に必要な産卵量が確保されていないことを指摘し、30%SPR(20%SPR～40%SPR 推奨⁵⁾)実現のため、漁獲死亡係数が0.289(年間生残率60.8%)となるまで漁獲努力量を削減することを推奨している。震災後である今回の結果では、漁獲死亡係数は0.254(年間生残率62.9%)となり、佐伯ら²⁾が示した30%SPRを達成していた。

加入量あたりの漁獲量(YPR)は、漁獲量の増大を目的とした管理ではなく、産卵親魚量の確保は考慮していない。現在の漁獲強度は30%SPRを達成し、加入と漁獲量を維持しながら、過去と比較して高水準の漁獲量を達成している。これらの結果は、震災以前から継続的に漁業者により取組まれてきたマコガレイ保護区の設定や産卵魚親魚の再放流、刺網目合規制等、総合的に資源管理を進めてきた成果であるとともに、震災により沿岸の刺網、小型底曳網漁業の許可隻数(図5)⁷⁾が半数近く減少した結果によるものと考えられ、これ

までの資源管理の継続が今後も必要と考えられた。



※2012年は宮城県農林水産部
水産業振興課聞き取り

図5 漁業許可隻数の推移(2018年7月末現在)

要約

- 1) 東日本大震災後の2012年～2017年に石巻魚市場で水揚げされたマコガレイは、全長20cm未満は僅かで殆どが20cm以上であった。20cm未満の1歳魚の割合は3%以下であった。
- 2) 資源尾数をコホート解析により診断したところ、マコガレイの1歳魚は2012年～2015年は181万尾～244万尾で推移し、2016年は400万尾、2017年は867万尾と増加していた。
- 3) マコガレイ雌の漁獲死亡係数は0.254(年間生残率62.9%)で、震災後は漁業が行われていない時の34.1%の産卵量が確保されていると試算され、加入と漁獲量が維持されていると考えられた。
- 4) 現在の高水揚の漁獲量レベルは、震災以前から継続的に漁業者により取組まれてきたマコガレイ保護区の設定や産卵魚親魚の再放流、刺網目合規制等、総合的に資源管理を進めてきた成果であるとともに、震災による漁獲努力量減少の結果によるものと考えられ、これまでの資源管理の継続が今後も必要と考えられた。

謝辞

本研究を推進するにあたり、ご指導、ご助言をいただいた気仙沼水産試験場雁部総明場長に深謝いたします。また、当センター環境資源部の佐伯光広上席主任研究員には資源解析にあたり親身にご指導いただき深く感謝申し上げます。なお、この研究は資源管理漁場改善推進事業の一環で行ったものである。

参考文献

- 1) 佐伯光広・菊地喜彦(2000) 宮城県沿岸域における異なる海域間で漁獲されたマコガレイの成長、産卵期及び遺伝的差異について、宮城県水産研究開発センター研究報告, 第 16 号, 61-70
- 2) 佐伯光広・富川なす美・永島宏・児玉純一(2005) 仙台湾におけるマコガレイの資源尾数の推定と資源管理, 宮城県水産研究報告, 第 5 号, 1-12
- 3) 平松一彦(2001) 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書, 社団法人日本水産資源保護協会 104-128
- 4) 田中昌一(1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理, 東海区水産研究書 研究報告(28), 1-200
- 5) 松宮義晴(1996) 水産資源管理概論, 水産研究叢書 46, 社団法人日本水産資源保護協会, 1-76
- 6) 水産庁, 都道府県資源管理指針, 宮城県資源管理指針
HP <http://www.jfa.maff.go.jp/form/shishin.html>
- 7) 宮城県ホームページ, 水産業振興課, 東日本大震災からの復興状況, 2010 年～2016 年
HP <http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/suishin/revival-progress.html>