

播磨灘・大阪湾産マコガレイの成熟と産卵期および それら繁殖特性の調査年代間における比較

反田 實^{†1}, 中村行延¹, 岡本繁好¹

Maturity and Spawning season of marbled sole *Pleuronectes yokohamae*, and comparison of reproductive characters between different survey periods in Harima Nada and Osaka Bay, the Seto Inland Sea, Japan

Minoru TANDA^{†1}, Yukinobu NAKAMURA¹ and Shigeyoshi OKAMOTO¹

The spawning season and maturity of the marbled sole *Pleuronectes yokohamae* were examined from 1986 to 2001 in the waters from Harima Nada to Osaka Bay eastern part of the Seto Inland Sea, Japan. From the seasonal changes of gonadosomatic index (GSI) it was considered that the spawning season was from mid-December to mid-February and the peak period was from late-December to late-January. The age and size at maturity were determined by the GSI in December and January. Maturity rates of 1 year old female fish of 1 year 11 months to 2 year 2 months were 82.1% in 1986–1989 and 99.5% in 1998–2001 (1986–1989 vs. 1998–2001, Fisher's exact probability test $p < 0.0001$), and those of male fish were 94.1% and 99.6%, respectively ($p = 0.0003$). Approximately 100% of 2 year old male and female fish were mature in both periods. The maturity rates of 1 year old females of 200–219 mm TL were 72.3% in 1986–1989 and 96.6% in 1998–2001 ($p = 0.004$), and those of males of 180–199 mm TL were 90.5% and 100%, respectively ($p = 0.042$). It was suggested that the age and size at maturity of marbled sole have decreased in recent years in this study area. The cause of these changes may be a density-dependent mechanism because of the remarkable decrease of catches in Harima Nada and Osaka Bay from 1986–1989 period to 1998–2001 period.

Key words: *Pleuronectes yokohamae*, marbled sole, spawning, maturity, Seto Inland Sea

はじめに

マコガレイ *Pleuronectes yokohamae* は北海道南部から九州沿岸の水深 100 m 以浅の海域に広く分布し (坂本, 1984; 落合・田中, 1986), 沿岸漁業の重要な漁獲対象種となっている。瀬戸内海においてもメイタガレイやイシガレイと並ぶ重要なカレイ類として小型底びき網, 刺網, 延縄および小型定置網などで漁獲される。また, 栽培漁業の対象種として瀬戸内海では 1970 年代から人工種苗の放流が継続して行われ, 2004 年には 1,288,000 尾の稚魚が放流された (水産庁ほか, 2006)。このような漁業資源としての重要性を背景に, 兵庫県, 大阪府, 岡山県および香川県は 1988 年から 3 カ年, 本種の資源管理方策を策定するために共同

調査を行い, 1990 年に瀬戸内海東ブロック資源管理指針 (瀬戸内海東ブロック資源培養管理対策推進協議会, 1991) を策定した。また, 同年に兵庫県資源培養管理推進指針 (兵庫県, 1991) が策定され, 以後, 兵庫県では小型魚の再放流や小型底びき網の網目拡大の取り組みが行われてきた。共同調査が開始された 1988 年における兵庫県のマコガレイ年間推定漁獲量は 623 トンであった。それ以降については, 本種の漁獲量が農林統計上単独で集計されていないため, 兵庫県全体の数量は明確ではない。しかし, 県内の主要漁業協同組合の漁獲量は 1998 年頃から低水準が続いており (Fig. 1), 1980 年代後半~1990 年代中頃に比べて, 近年その資源水準は著しく低下していると推測される。先に述べた資源管理の取り組みにもかかわらず, 漁獲量が減少していることから, その原因究明と資源管理方針の再構築が急務の課題となっている。

資源状態を把握し資源管理方策を策定するためには, 対象種の産卵期や成熟年齢に関する情報は基本的に重要である。マコガレイの成熟・産卵様式は 1 産卵期 1 回型であり,

2006 年 12 月 28 日受付, 2008 年 7 月 15 日受理

¹ 兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター

Fisheries Technology Institute, Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, 22-2 Minami-Futami, Akashi, Hyogo 674-0093, Japan

[†] minoru_tanda@pref.hyogo.lg.jp

卵は1度に放出される(松浦, 1969; 佐藤, 1972). 産卵期と成熟については, 陸奥湾(高橋ほか, 1983), 東京湾(Kume et al., 2006) および周防灘(正木ほか, 1987)などの報告がある. 瀬戸内海東部については松村ほか(1973)が1970年代に播磨灘北西部で, また辻野ほか(1997)が1988~1990年に大阪湾で調査を行い, 産卵期等について報告している. しかし, それらは1990年頃までの調査に基づくものであり, 漁獲量が低水準となった1990年代後半以後の報告はない.

資源水準の変化に伴って, 成熟年齢や成熟サイズが変化することは, 北海産ブレース(Rijnsdorp, 1993)や大西洋タラ(Beacham, 1983; Jorgensen, 1990), ノルウエー産ニシン(Engelhard and Heino, 2004)のほかマイワシ(森本, 1998; 和田, 1998)やサワラ(竹森・山田, 2003)で報告されている. しかし, 沿岸・内湾域を主たる生息場とするマコガ

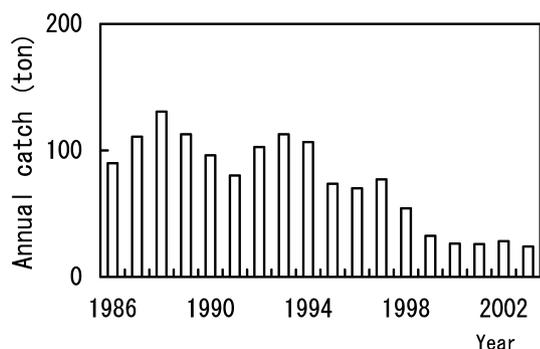


Figure 1. Annual catch of marbled sole landed at the 9 fisheries cooperative associations (See Fig. 2) in Hyogo Prefecture.

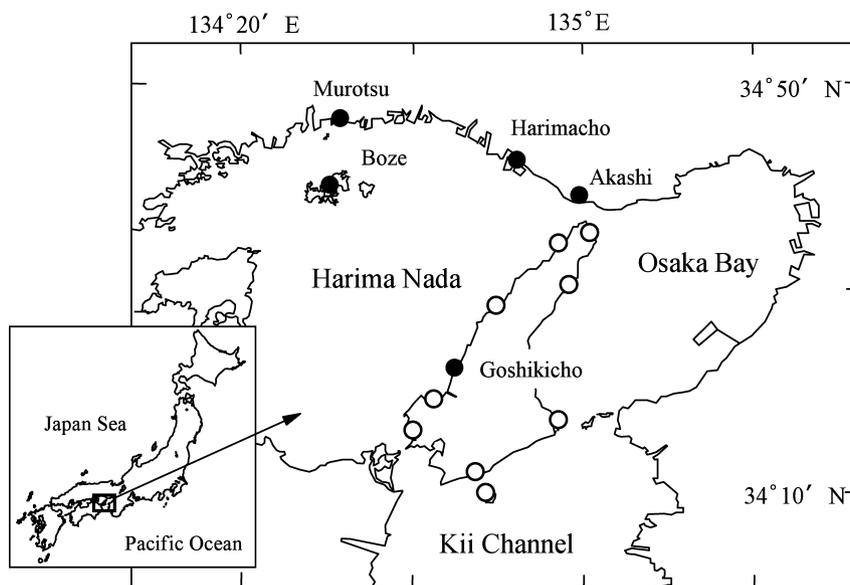


Figure 2. Locations of the study area. Solid and open circles show the fisheries cooperative associations. Specimens were sampled from the solid circles and catch data were collected from the open circles.

レイについてはKume et al. (2006)の研究があるにすぎない. 前述のように漁獲水準が著しく低下していることから, 当海域のマコガレイにおいてもそれら繁殖形質が変化している可能性がある. そこで, まず本報では, 1986~2001年に播磨灘・大阪湾で漁獲されたマコガレイの生物測定結果から, この海域における本種の産卵期について詳細に検討するとともに, 他海域の産卵期との比較を行った. 続いて, 生殖腺体指数(GSI)に基づく成熟判定基準を示したうえで, 漁獲水準が高かった時期(1986~1989年)と低下した時期(1998~2001年)別に, 年齢別成熟割合および全長別成熟割合を明らかにし, 近年の本種の成熟に関する特性を整理し両期間の比較を行った.

材料と方法

標本魚と測定項目

兵庫県内5地区の漁業協同組合に水揚げされた漁獲物を購入し(Fig. 2), 測定標本とした. 標本の入手期間は1986年5月から2001年1月で, 解析に用いた測定標本数は5035尾である(Table 1). 調査地区別の内訳は明石3909尾, 五色町95尾, 播磨町39尾, 坊勢771尾, 室津221尾である. 各地区の漁業協同組合の主漁場は異なるが, 漁場の範囲は播磨灘~大阪湾北西部海域である. 調査はおおむね毎月1回実施したが, 1995年4月~1998年5月は実施していない. また, 1986年12月, 1987年12月および1988年1月と11月は月2回の調査を実施した. 標本は生鮮の状態を持ち帰り, 全長と体長はmm単位, 体重は0.1g単位, 生殖腺重量は0.01g単位で測定した. また, 1987年12月~1988年1月と1999年1月~2001年1月の各12~1月に得られた標本のう

Table 1. Number of marbled sole specimens used in the study.

Year	No. of specimens				
	Total	Trawl	Gill net	Longline	Unknown
1986	376	376			
1987	771	771			
1988	799	799			
1989	841	609		87	145
1990	155	155			
1991	207	207			
1992	306	306			
1993	220	220			
1994	219	219			
1995	15	15			
1998	245	245			
1999	363	363			
2000	352	227	86	39	
2001	166	67	99		
Total	5035	4579	185	126	145

ち616尾（前者の期間263尾，後者の期間353尾）について生殖腺の肉眼観察による熟度判定を行った。年齢査定は1986年12月～1989年1月と1998年12月～2001年1月の各12～1月に得られた1305尾（前者の期間715尾，後者の期間590尾）について行った。年齢は耳石輪紋（反田ほか，1992）と標本の採集月から判定した。年齢査定の基本日は原則として1月1日としたが，1月1日は産卵期間中であることから，混乱を避けるために生後1年目の産卵期終了までは0歳魚，2年目の終了までを1歳魚と表示した。また，産卵期の年表示は12月時点の年で表した。

生殖腺体指数 (GSI) と生殖腺の観察

GSIは次式により求めた。

$$GSI = \text{生殖腺重量 (g)} \times 10^2 / \text{体重 (g)}$$

肉眼観察による卵巣の熟度区分は次の4段階とした。

熟度1：未熟。卵巣は小さくやや透明感がある。

熟度2：成熟途中。卵巣は薄黄色～黄～橙色を呈する。

熟度3：成熟。卵巣内に透明卵がみられる。または，腹部圧迫により完熟卵が流出する。

熟度4：放卵後。卵巣は大きく白っぽい色を呈し，張りが無い。

熟度1は表層胞期まで，熟度2は卵黄球期と胚胞移動期に，熟度3は前成熟期～完熟期に，熟度4は放卵後に相当すると考えられる。

精巣の熟度は次の4段階に区分した。

熟度1：未熟。精巣は小さく膨らみがなく，触れた感じはやや硬い。

Table 2. Relation between the degree of maturity and gonadosomatic index (GSI) of marbled sole in the spawning season, December (1987, 1999, 2000) and January (1988, 1999, 2000, 2001). The degree of maturity was judged from the external appearance of the ovary and testis: 1 immature, 2 maturing, 3 ripe, 4 spent. $GSI = GW \times 100 / BW$ (BW: body weight, GW: gonad weight in g).

Female

Month	Maturity	Number	GSI (Range)
December	1	12	0.32–0.79
	2	84	2.8–27.2
	3	6	27.5–30.1
	4	2	3.4, 3.7
January	1	12	0.25–0.84
	2	37	15.7–37.3
	3	42	9.4–43.8
	4	124	0.57–7.0

Male

Month	Maturity	Number	GSI (Range)
December	1	5	0.07–0.13
	2	23	7.3–22.9
	3	140	3.2–23.9
January	1	3	0.10–0.18
	3	97	1.2–17.8
	4	29	0.13–1.9

熟度2：成熟途中。精巣は膨らんでやや弾力があり，多少透明感がある。

熟度3：成熟。精液が確認できる。精巣は白くなり透明感はない。

熟度4：放精後。精巣は縮小し，やや硬くなる。外観上熟度1との区別は難しくなる。

雄の場合，放精し精巣が縮小しても精液が確認できる個体があるが，熟度3にはそれらも含めた。熟度4については熟度1との区別が難しいため，出現時期などを考慮して判定した。

成熟割合と成熟判定基準

年齢別および全長別成熟割合は12月と1月の標本のGSIから求めた。成熟と未熟を区分するGSIの基準値は，標本の一部で実施した生殖腺の肉眼観察結果とGSIとの関係 (Table 2)，およびGSIの分布から求めた。12月における雌の判定基準値は，熟度1群と熟度2群のGSIのレンジが分離していること，経時的に分離傾向がさらに明瞭となること，および熟度1群の最大値付近のGSIの分布から $GSI \geq$

1.6とした。雄についても熟度1群と熟度2群の分離は明瞭であること、および熟度1群の最大値付近のGSIの分布から $GSI \geq 0.7$ とした。1月は、雌雄とも熟度1と熟度4のGSIのレンジに重複部分があるため、12月のような明確な基準値は得られない。そこで、重複範囲の中間値を成熟判定の基準値とした（雌：0.71，雄：0.16）。成熟判定基準については結果および考察において詳述する。

水温資料

調査期間中（1986～2001年）の水温は、播磨灘で兵庫県が実施している浅海定線調査（堀ほか，2005）のデータを用いた。また、全国各海域の産卵期の比較にあたっては、それぞれの海域に近い定置観測水温データ（2002～2004年）を用いた（日本海洋データセンター，http://www.jodc.go.jp/data/coastal/obs./data_index.html）。観測地点は北から順に、知内（北海道）、茂浦（青森県）、鱒ヶ沢（青森県）、富津（千葉県）、明石（兵庫県）である。

定置観測水温は沿岸の地先表層付近で測定されているが、マコガレイが沿岸内湾性の魚であること、また、本種の産卵期が冬季であることから、生息域における産卵期を中心とした水温環境の比較に用いることが可能と考えられる。

結果

生殖腺の熟度区分と生殖腺体指数 (GSI)

Table 2に肉眼観察による生殖腺の熟度区分とGSIの関係を示した。雌においては、12月には熟度1の個体のGSIは1以下であるが、卵黄蓄積が開始されていると考えられる熟度2の最小値は2.8であり、熟度1との間でGSIに差が認められた。1月に入っても熟度1のGSIに変化は見られなかったが、熟度2のGSIは15.7以上に上昇し、両熟度群におけるGSIの分離傾向はさらに明瞭となった。1月に入ると産卵後とみられる熟度4の個体が多く出現し、それらの中には生殖腺が縮小し、GSIが熟度1と重なるものが認められた。

雄においても、12月における熟度1の個体のGSIは1以下であるが、熟度2のGSIは7.3～22.9であり、GSIの分離傾向は雌よりも明瞭であった。熟度3にGSIの低い個体が見られるが、これは放精が始まっていたためである。1月に入ると放精を終えた熟度4の個体が出現し、それらの中にはGSIが熟度1と重なるものがみられた。また、熟度2の個体は見られなくなった。

GSIの季節変化と産卵期

Fig. 3にGSIの季節変化を示した。1回の測定尾数が5尾未満のデータは図示しなかった。漁獲量が高水準の1986～1995年（Fig. 3，白抜き）と低水準の1998～2001年（Fig. 3，黒色）の間で平均GSIの季節変化に顕著な違いが認められなかったため、以下では雌雄別の平均的なGSIの変化を示す。

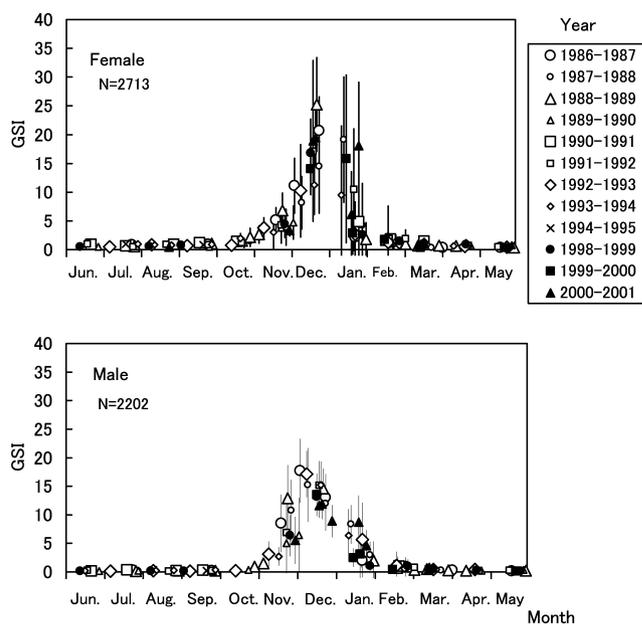


Figure 3. Seasonal changes of gonadosomatic index (GSI) in marbled sole. Vertical lines represent standard deviations. $GSI = GW \times 100 / BW$ (BW: body weight, GW: gonad weight in g).

雌の平均GSIは、3～9月の間はほぼ1未満で推移し、10月後半から高くなりはじめた。10月は1～2、11月は3～7であるが、12月前半に急上昇し中旬頃に最高値（平均GSI 20～25）を示した。1月に入ると急激に低下し、1月下旬には2～4となった。雄の平均GSIも3～9月の間は1未満で推移し、10月に入ると高くなり始めるが、10月中は1を超えなかった。11月後半に急上昇し12月上旬頃に最高値（平均GSI 15～20）を示した。そして、12月中旬頃から低下し始め1月下旬には1～3となった。雄のGSIの低下傾向は雌よりも緩やかであった。このように雌雄のGSIの季節変化は概略類似するが、産卵期前の変化をみると、GSIが上昇し始める時期は雄のほうが遅いが、その後の増加の度合いは急激であり、最高値に達する時期は雄の方が早い傾向が認められた。また、ピーク後の低下は雄のほうが緩やかであった。

産卵期前後における生殖腺およびGSIの変化を詳しくみるため、調査回数および測定個体数が多かった1987年産卵期とその前後（1987年9月～1988年5月）における1歳以上の個体別のGSIの推移をFig. 4に示した。雌においては、12月には熟度4を示す放卵後の個体は見られなかったが、1月12日の調査では50尾中12尾が放卵後の個体であった。また1月27日は35尾中24尾が放卵後と判定され、産卵盛期が過ぎつつある状況であった。しかし、2月17日においても、依然1個体であるがGSIが35.3を示す個体（全長247 mm，1歳魚）がみられた。雌のGSIの最高値は

36.0 (全長324 mm, 2歳魚)であった。雄においては、12月9日には標本魚のうち33%の個体が、また同23日には90%の個体が熟度3を示し精巣内に精液が確認された。2月中旬にはほとんどの個体でGSIは5以下となったが、依然、精液が確認出来る個体が存在した。このように1987年産卵期は1月に入ってから産卵が始まり、1月末までに大半の個体が産卵を終えていた。

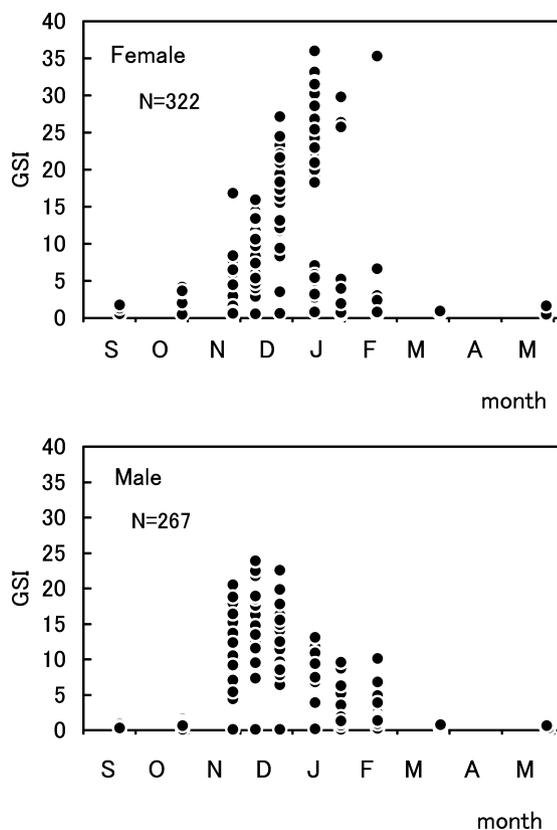


Figure 4. Seasonal changes of gonadosomatic index (GSI) in marbled sole from September 1987 to May 1988. GSI = $GW \times 100 / BW$ (BW: body weight, GW: gonad weight in g).

1987年産卵期については12月中の産卵は確認できなかったが、1988年12月21日にはGSIが30を超える個体が、また、2000年12月18日の調査では産卵後の個体が確認されており、年により12月に産卵する個体があることは明らかである。

成熟割合

Table 3に年齢別成熟割合を示した。1986~1989年における0歳魚の成熟割合は雌3.6%、雄50%、1歳魚は雌82.1%と雄94.1%であった。また、2歳魚のそれは雌雄ともほぼ100%であった。一方、1998~2001年については、雌雄とも1歳魚において成熟割合はほぼ100%に達していた。両期間における1歳魚の成熟割合を比較すると、年代順に雌は82.1%と99.5%、雄は94.1%と99.6%であった。このように、1歳魚の成熟割合は最近年代の方が雌雄とも高い傾向が認められた (Fisher's exact probability test, 雌: $p < 0.0001$, 雄: $p = 0.0003$)。全長区分別成熟割合については、0歳魚は標本数が少ないこと、2歳魚の成熟割合は雌雄とも100%であったことから、1歳魚の結果を示した (Table 4)。全長200~219 mmにおける雌1歳魚の成熟割合は1986~1989年が72.3%、1998~2001年が96.6%であり、後者の期間の方が高い傾向が認められた (Fisher's exact probability test, $p = 0.004$)。また、全長180~199 mmにおける雄1歳魚の成熟割合はそれぞれ90.5%と100%であり、同じく最近年代の方が高い傾向が認められた (Fisher's exact probability test, $p = 0.042$)。

考察

成熟判定基準

生殖腺の成熟状態の判定は組織像の観察によるのが確実であるが、組織切片の作成には多くの労力が必要であり、多数標本の処理には適さない。そこで、本報では通常の生物測定によって得ることができるGSIの値を用いた成熟判定の基準を示した。

生殖腺の肉眼観察結果とGSIとの関係 (Table 2) から、12

Table 3. Comparison of maturity rate by age in marbled sole between 1986–1989 and 1998–2001.

Age	1986–1989				1998–2001			
	Female		Male		Female		Male	
	N	%	N	%	N	%	N	%
0	28	3.6	14	50	2	50	3	100
1	224	82.1	202	94.1	198	99.5	262	99.6
2	155	98.7	50	100	44	100	40	100
3	10	100	5	100	16	100	12	100
4	12	100	5	100	5	100	4	100
5 \leq	7	100	3	100	2	100	2	100

Table 4. Comparison of maturity rate by total length class in 1-year-old marbled sole between 1986–1989 and 1998–2001.

Total length (mm)	1986–1989				1998–2001			
	Female		Male		Female		Male	
	N	%	N	%	N	%	N	%
140–159	—	—	2	50.0	—	—	—	—
160–179	1	0	17	82.4	—	—	7	100
180–199	20	35.0	63	90.5	7	100	42	100
200–219	65	72.3	70	98.6	29	96.6	72	100
220–239	55	89.1	39	97.4	46	100	81	98.8
240–259	57	96.5	11	100	68	100	48	100
260≦	26	100	—	—	48	100	11	100

No data: —

月時点における雌の熟度1群は未熟卵群のみを有し当該産卵期には成熟しない群、熟度2群は未熟卵群と成熟移行卵群を有し、当該産卵期に産卵する群と推察される。したがって、両群を分離するGSI値は、熟度1群の最大値0.79と熟度2群の最小値2.8の間で、かつ、生物学的には熟度1群の最大値に近い値と推察される。さらに、肉眼観察を行っていない標本も含めた全測定値を用いてこの付近のGSIの分布を検討した結果、0.95~2.16を境にモードの分離が認められたことから、この範囲内に両群を分離する閾値があると考えられた。正確な閾値は確定できないが、0.95~2.16の間であれば算出される成熟割合は変わらないことから、それらの中間値であるGSI≧1.6は12月における雌の成熟判定の基準値として問題ないと判断された。

雄については精巢の発達様式の詳細は明らかでないが、12月における熟度1群と熟度2群のGSIのレンジは明瞭に分離しており、熟度1群の最大値0.13と熟度2群の最小値7.3の間に両群を分離する閾値があると考えられる。さらに、熟度1群のGSIが1を超えていないこと、また、雌と同様に12月の全測定値を用いて熟度1群の最大値付近の分布を検討した結果、0.16~1.15を境にGSI値に分離傾向が認められたことから、この範囲の中間値であるGSI≧0.7は12月における雄の成熟判定の基準値として妥当と考えられた。

1月に入ると産卵後や放精後である熟度4の個体が多くなり、それらの中にはGSIが熟度1群の最大値を下回る個体がみられるようになる。このため、1月については雌雄とも12月の基準値は使えない。そこで、Table 2の1月における熟度1と熟度4のGSIの重複範囲（雌：0.57~0.84、雄：0.13~0.18）の中間値（雌：0.71、雄：0.16）を基準値として使用できるかどうかを検討した。Table 2において重複範囲にある個体数は、雌7個体、雄3個体であった。

Table 2は雌雄とも各月の成熟個体の割合を反映していると考えられるため、これら重複範囲にある個体を先の中間値により熟度1と熟度4に配分し直し、成熟割合の変化をみた。その結果、雌は94.4%が94.7%に、雄は97.7%が97.3%に変化した。違いはわずかであった。さらに、成熟度の肉眼観察結果がある1988年1月について2つの方法（生殖腺の肉眼観察とGSIの併用による区分、GSIの中間値のみによる区分）を用いて成熟割合の比較を行った。雌（n=85）では両方法による差は無かった。また、雄（n=56）では肉眼観察結果が96.4%、GSIの中間値を用いた場合は92.9%であった。このように、雄では多少の差異が認められたが、12月と合わせた産卵期全体の評価ではその差はさらに小さくなった（94.1%と92.4%）。また、全期間について同じ基準で解析するため、調査年代間の比較に与える影響は小さいと考えられることから、1月の成熟判定基準として用いた雌GSI≧0.71および雄GSI≧0.16は妥当と判断された。

マコガレイは1産卵期1回型の成熟様式を持つため生殖腺の肉眼観察結果があれば成熟割合を求めることは比較的容易である。しかし、本報では肉眼観察が一部分の標本であったためGSIを基準に成熟割合を求めた。GSIによる成熟判定は、過去の歴史的なデータにおいて生殖腺重量等の情報しかない場合に有効である。また、GSIには肉眼観察に比べて測定者による差異が入りにくいという利点があると考えられる。

産卵期

播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの産卵期は、雌のGSIの季節変化および生殖腺の観察結果から、12月中旬~2月中旬で、その盛期は12月下旬~1月下旬と推定された。マコガレイは個体で見れば卵は一度に放出されるが、群として見ると、このように1カ月以上の産卵期間を持つと考え

Region	Spawning Season							Literature
	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	
Kikonai Bay (Hokkaido pref.)					←○→			Ishino and Mihara (1995)
Mutsu Bay (Aomori pref.)		←○→						Takahashi et al. (1983)
Japan Sea (Aomori pref.)					←○→			Aomori pref. (1973)
Yamada Bay (Iwate pref.)		←○→						Iwate pref. (1973)
North of Ojika Peninsula (Miyagi pref.)			←○→					Saeki and Kikuchi (2000)
South of Ojika Peninsula (Miyagi pref.)		←○→						Saeki and Kikuchi (2000)
Sendai Bay (Miyagi pref.)		←○→						Hatanaka and Iwahashi (1953)
Sendai Bay (Miyagi pref.)		←○→						Miyagi pref. (1975)
Tokyo Bay (Kanagawa pref.)			←○→					Nakagome (1980)
Osaka Bay (Osaka pref.)		←○→						Tsujino et al. (1997)
Harima Nada and Osaka Bay (Hyogo pref.)		←○→						Present study
Bisan Seto (Okayama pref.)		←○→						Matsumura et al. (1973)
Suo Nada (Fukuoka pref.)		←○→						Fuji and Tako (1972)
Beppu Bay (Ooita pref.)			←○→					Oita pref. et al. (1985)

Figure 5. Spawning seasons of marbled sole in different regions of Japan. The ranges of arrow indicate the spawning seasons and open circles the middle of the season.

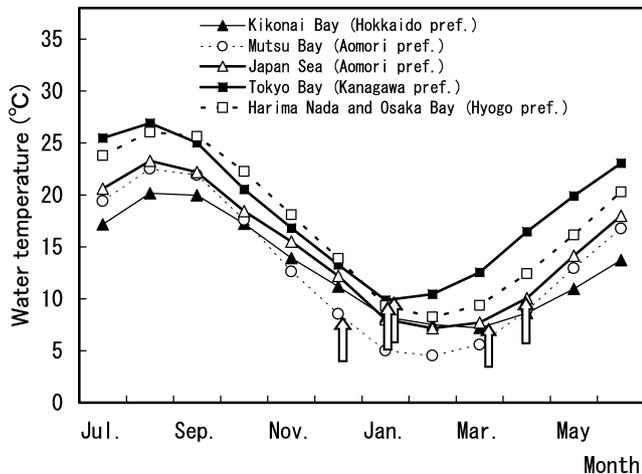


Figure 6. Seasonal changes of the surface water temperature (average for 2002–2004) in different regions. Arrows show the center of the spawning season of marbled sole (See Fig. 5).

られる。辻野ほか (1997) は大阪湾のマコガレイの産卵期を12~1月と報告しており、本報と大きい違いはない。産卵期とその前後における雌雄のGSIの変化には差異が認められた。雄のGSIの立ち上がりは雌よりも遅れるが、上昇の度合いは雌よりも急激であり、放精可能な雄は雌が最終成熟に達する前に出現した。産卵期の終期については明確ではないが、1月後半においても雄成魚の63%で精液が確認された。このことから雄の放精可能期間は雌の産卵期間をカバーしていると推察された。このような本種の雌雄による成熟過程の違いは正木ほか (1987) も報告している。

1986~2001年の間では産卵期に顕著な変化は観察されな

かった。東京湾においても1980年代中頃から2004年頃までの間に産卵期の変化は認められていない (Kume et al., 2006)。一方、本報の調査海域である播磨灘の10m層年平均水温は1986~1988年の16.6°Cから1998~2000年の17.9°Cへ約1.3°C上昇している。一般的に水温は魚類の成熟と産卵に大きい影響を及ぼすと考えられることから (清水, 2006)、産卵期の変化については今後も継続した調査が必要である。

本報の結果と比較するため、全国各海域の産卵期を整理し Fig. 5に示した。図中の矢印は各報告に記載された産卵期の範囲を示すが、産卵期間の最大値が記載されている場合と産卵盛期のみが示されている場合とがある。ここでは矢印の範囲の中央 (丸印) が産卵盛期に近似していると考え、これを指標に産卵時期の比較を行う。牡鹿半島以南の海域では産卵期の中央はすべて12~1月の範囲にある。一方、牡鹿半島以北の海域では、山田湾 (岩手県, 1973) と陸奥湾 (高橋ほか, 1983) については以南の海域と差は見られないが、宮城県海域は2月中旬 (佐伯・菊池, 2000)、青森県の日本海側は4月中旬 (青森県, 1973)、北海道の木古内湾は3月下旬 (石野・三原, 1995) がそれぞれ産卵期の中央であり、他の海域と明らかに産卵時期が異なっている。このように日本全体を見た場合は、牡鹿半島以南の太平洋沿岸における産卵期の中央は12~1月の範囲にあり、比較の変異は小さいが、北日本では産卵期が遅れる傾向が認められる。ヒラメにおいても日本列島の南で産卵期が早く、北に行くほど遅くなる傾向がみられ、産卵適水温の地理的分布に対応した変異と考えられている (南, 1983)。また、同一種ではないが日本列島とそれ以北に分布するカレイ科魚類では北方に分布する種ほど産卵期が遅い傾向が

見られる (Minami and Tanaka, 1992). 一方で, Fig. 5において12~1月に産卵期の中央がある海域の多くは内湾的性質の強い海域であり, 産卵期の遅い海域はそれらに比べて地形的に開放的な沿岸域と見ることもできる. このような違いが生息環境の違いとも関連して, 産卵期の変異に影響しているのかもしれない.

全国5海域の産卵期と定置観測水温を Fig. 6に示した. 産卵期中央の水温が最も低いのは木古内湾の7.2°C, 最も高いのは青森県日本海の10.1°Cである. このことから, 日本国内のマコガレイの産卵盛期の沿岸水温は, おおむね7~11°Cの範囲にあると推察される. 水温下降期における東京湾と播磨灘・大阪湾の水温は類似しており, 産卵期にも大きい違いはない. 陸奥湾については東京湾や播磨灘・大阪湾よりも水温の下降が早く, 産卵期も早い傾向が見られる. 一方, 木古内湾や青森県日本海は水温の下降は早い, 産卵期は播磨灘・大阪湾よりもかなり遅い. このことからマコガレイについては産卵適水温のみで産卵期の変異を説明するのは難しいと思われる.

石野・佐野 (1996) は北海道の木古内湾群と本州の津軽半島群についてアロザイム多型解析と産卵期の比較から, それらが独立した繁殖集団を形成している可能性が高いとしている. また, 本州産のマコガレイについてもアイソザイム分析の結果から各地域に独立した集団 (木島・朴, 1989) や分集団 (田畑, 1992) の存在が示唆されている. これらのことから, Fig. 5に示された産卵期の変異には遺伝的要因が関与している可能性も考えられる. 本種の産卵期の地理的変異とその要因については, 生息環境のほか遺伝子解析を含めたさらに詳細な調査が必要である.

成熟割合

漁獲水準が高かった1986~1989年と低水準となった1998~2000年を比較すると, 雌1才魚の成熟割合は82.1%から99.5%へ, 雄1歳魚では94.1%から99.6%へと変化していた. また, 成熟サイズも小型化の傾向が示唆された. 資源水準の低下に伴う早熟化は, 個体レベルの栄養状態の改善とそれに伴う成長速度の増加や, 大型・高齢魚に対する選択的な漁獲による遺伝的変異が要因として考えられている (米田, 2006). 播磨灘・大阪湾産マコガレイについては, 本報とほぼ同じ期間において成長の改善を示唆する結果が得られており (反田ほか, 2008), 本報で示した早熟化の傾向と関連した変化かもしれない. 東京湾産マコガレイでも密度依存的な成長速度の変化が示唆されており (Kume et al., 2006), 漁獲量の著しい減少から見て, 当海域のマコガレイにおいても密度依存的要因により成長や成熟特性に変化が生じている可能性がある. 成熟特性の長期変動を明確にするため, 今後さらに継続的な調査を行い現象の確実な把握を行うことが重要である.

雌1歳魚の成熟割合について東京湾では58.3%と報告されており (Kume et al., 2006), 本報の結果 (99.5%: 1998~

2001年) との違いは大きい. このような差異が生じる要因の一つとして海域による成長の違いが考えられ, 同一年齢であっても魚体の平均サイズが大きいかほど成熟割合は高くなる可能性がある (成松, 2006). しかし, マコガレイの成長に関しては, 逆に東京湾産のほうが播磨灘・大阪湾産よりも良い (反田ほか, 2008). このように両海域における成熟割合の差異については現時点でその要因は明らかでなく, さらに検討する必要がある. 一方で, 成熟割合の算出方法についても注意が必要である. 調査海域が重複する大阪湾において, 辻野ほか (1997) は雌1歳魚の成熟割合を62.5%と報告した. 辻野ほか (1997) は成熟の指標値として, 生殖腺重量×100を体重マイナス生殖腺重量で除した値 (GI) を採用し, 12月においてGIが20以上の個体の割合を成熟割合としている. GIの20はGSIの16.6とほぼ等しく, このような判定基準の違いが結果の差異に影響している可能性がある. 成熟度の指標値としては生殖腺重量を体重で除した値, 内臓除去体重で除した値, 体重マイナス生殖腺重量で除した値, 体長の3乗で除した値のほか, 卵径などが用いられている. また, 判定基準値の根拠が明確でない場合もある. このように, 成熟度の指標値はまちまちであり, 研究結果のより正確な比較のためには, 指標値の統一と共通の判定基準の使用が求められる.

謝 辞

標本の入手にご尽力いただいた関係漁業協同組合の職員の皆様に厚くお礼申し上げます. また, 本論文の校閲を賜った東北大学農学部教授南卓志博士に感謝の意を表する.

引用文献

- 青森県 (1973) 昭和47年度日本海栽培漁業漁場資源生態調査結果報告書, 38-47.
- Beacham, T. D. (1983) Variability in median size and age at sexual maturity of Atlantic cod, *Gadus morhua*, on the Scotian Shelf in the Northwest Atlantic Ocean. *Fish. Bull., U.S.*, **81**, 303-321.
- Engelhard, G. H. and M. Heino (2004) Maturity changes in Norwegian spring-spawning herring before, during, and after a major population collapse. *Fish. Res.*, **66**, 299-310.
- 藤 紘和・多故信良 (1972) カレイ類の漁場資源生態研究. 福岡県豊前水産試験場研究業務報告, 昭和46年度, 29-50.
- Hatanaka, M. and S. Iwahashi (1953) Studies on the populations of the flatfishes in Sendai Bay III. The biology of *Limanda yokohamae* (GÜNTHER). *Tohoku J. Agr. Res.*, **3**, 303-309.
- 堀 豊・藤澤邦康・藤沢節茂・天真正勝 (2005) 播磨灘. 瀬戸内海ブロック浅海定線調査観測30年成果集, 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所, 38-59.
- 兵庫県 (1991) 兵庫県資源培養管理推進指針 (瀬戸内海区), 1-117.
- 石野健吾・三原栄次 (1995) マコガレイ (地域重要資源; 回遊型). 北海道立函館水産試験場事業報告書, 平成6年度, 269-279.
- 石野健吾・佐野満廣 (1996) マコガレイ (地域重要資源; 回遊型). 北海道立函館水産試験場事業報告書, 平成7年度, 234-248.
- 岩手県 (1973) 昭和47年度太平洋北区栽培漁業漁場資源生態調査報告書, 17-19.
- Jørgensen, T. (1990) Long-term changes in age at sexual maturity of

- Northeast Arctic cod (*Gadus morhua* L.). J. Cons. int. Explor. Mer, **46**, 235–248.
- 木島明博・朴 重淵 (1989) マコガレイ属マガレイおよびマコガレイの種内における遺伝的分化と集団構造. 昭和61~63年度海洋生物集団の識別等に関する先導的評価手法の開発事業報告書 アイソザイムによる魚介類の集団解析, (社) 日本水産資源保護協会, 436–444.
- Kume, G., T. Horiguchi, A. Goto, H. Shiraiishi, Y. Shibata, M. Morita and M. Shimizu (2006) Seasonal distribution, age, growth, and reproductive biology of marbled sole *Pleuronectes yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. Fish. Sci., **72**, 289–298.
- 正木康昭・伊東 弘・上城義信・横松芳治・小川 浩・山口義昭・東海 正 (1987) 周防灘産マコガレイの成熟と産卵期. 日本水誌, **53**, 1181–1190.
- 松村真作・服部洋年・寺島 朴 (1973) マコガレイ放流技術開発調査. 瀬戸内海栽培漁業事業魚類放流技術開発調査事業昭和47年度経過報告 (マコガレイ・ガザミ), 4–48.
- 松浦修平 (1969) イシガレイおよびマコガレイの産卵に関する実験的観察. 文部省特定研究, 内海性海域における生物群集の生産の動態に関する研究, 43年度研究実績報告, 38–45.
- 南 卓志 (1983) 異体類の初期生活史II産卵期の特徴. 海洋と生物, **29**, 450–453.
- Minami, T and M. Tanaka (1992) Life history cycles in flatfish from the Northwestern Pacific, with particular reference to their early life histories. Neth. J. Sea Res., **29**, 35–48.
- 宮城県 (1975) 昭和47, 48, 49年度総括太平洋北区栽培漁業漁場資源生態調査報告書, 1–64.
- 森本晴之 (1998) 成熟. 「マイワシの資源変動と生態変化」渡邊良朗・和田時夫編, 水産学シリーズ119, 恒星社厚生閣, 東京, 45–53.
- 中込 淳 (1980) 東京湾南部におけるマコガレイの漁獲量と魚体特性の変動. 神奈川水試研報, **1**, 91–97.
- 成松庸二 (2006) マダラの生活史と繁殖生態—繁殖特性の年変化を中心に—. 水産総合研究センター研究報告, 別冊4, 137–146.
- 落合 明・田中 克 (1986) 魚類学 (下). 恒星社厚生閣, 東京, 1106–1109.
- 大分県・山口県 (1985) 昭和59年度放流技術開発事業 (マコガレイ) 総合報告書, 総1–25.
- Rijnsdorp, A. D. (1993) Fisheries as a large-scale experiment on life-history evolution: disentangling phenotypic and genetic effects in changes in maturation and reproduction of North Sea plaice, *Pleuronectes platessa* L. Oecologia, **96**, 391–401.
- 佐伯光広・菊池喜彦 (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. 宮城水セ研報, **16**, 61–70.
- 坂本一男 (1984) マコガレイ. 「日本産魚類大図鑑」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, 338.
- 佐藤羊三郎 (1972) マコガレイ (日出シロシタガレイ) の水槽内自然産卵について. 水産増殖, **19**, 183–186.
- 瀬戸内海東ブロック資源培養管理対策推進協議会 (1991) 一豊かな海を創設する—瀬戸内海東ブロック資源管理指針, 1–59.
- 清水昭男 (2006) 魚類の生殖周期と水温等環境条件との関係. 水産総合研究センター研究報告, 別冊4, 1–12.
- 水産庁・独立行政法人水産総合研究センター・(社) 全国豊かな海づくり推進協会 (2006) 平成16年度栽培漁業種苗生産入手・放流実績 (全国), 1–107.
- 田畑和男 (1992) マコガレイの兵庫県瀬戸内海域における漁獲群と人工生産群のアイソザイムによる集団解析. 水産育種, **17**, 71–80.
- 高橋豊美・斉藤重男・前田辰昭・木村 大 (1983) 陸奥湾におけるマガレイとマコガレイ成魚の生活年周期. 日本水誌, **49**, 663–670.
- 竹森弘征・山田達夫 (2003) 瀬戸内海東部域におけるサワラの資源水準と成長の関係. 香川水試研報, **4**, 1–9.
- 反田 實・五利江重昭・中村行延・岡本繁好 (2008) 播磨灘・大阪湾産マコガレイの年齢と成長. 日本水誌, **74**, 1–7.
- 反田 實・中村行延・岡本繁好 (1992) 紀伊水道北部海域産マコガレイの年齢と成長. 水産増殖, **40**, 317–321.
- 辻野耕實・安部恒之・日下部敬之 (1997) 大阪湾におけるマコガレイの漁業生物学的研究. 大阪水試研報, **10**, 29–50.
- 和田時夫 (1998) 親潮域での回遊範囲と成長速度. 「マイワシの資源変動と生態変化」渡邊良朗・和田時夫編, 水産学シリーズ119, 恒星社厚生閣, 東京, 27–34.
- 米田道夫 (2006) 底魚類の資源生物学的特性に関する研究. 日本水誌, **72**, 823–826.