

[報告] 2012～2020 年の道東～鹿島灘で漁獲されたマサバの粗脂肪 含量の季節変化・経年変化および漁法（まき網と定置網）の影響

Seasonal and interannual variability in crude fat content of chub mackerel *Scomber japonicus* captured from waters off northeastern Japan during 2012–2020, with notes on effects of purse seine and setnet fisheries

谷津 明彦¹⁾ 高橋 清孝²⁾ 渡邊 一功¹⁾ 本田 修³⁾
Akihiko Yatsu Kiyotaka Takahashi Kazuyoshi Watanabe Osamu Honda

1) 水産情報部 2) (前) 東北出張所 2) 常務理事

要旨：

マサバ太平洋系群の粗脂肪含量(%, 脂肪量という)に対する漁獲日(各年1月1日からの日数)・尾叉長・年および漁法(まき網と定置網)の影響を明らかにした。使用した試料は、2012～2020年に道東～鹿島灘の海域でまき網により主に秋季～翌春季に漁獲された3,061個体(尾叉長20～44 cm)と石巻付近の定置網で春季～夏季に漁獲された520個体(尾叉長22～44 cm)である。先行研究に従い、漁獲日と尾叉長を平滑化(スプライン)関数として独立または同時に考慮した場合について、一般化加法モデル(GAM)を適用し、AICによりモデル選択を行った。その結果、漁獲日と尾叉長を同時に考慮したモデルの方がやや優れており、脂肪量に対する尾叉長と漁獲日の影響が明らかになった。漁獲日と尾叉長を同時に考慮したモデルでは、まき網と定置網の間で統計的な有意差は見られなかったが、独立に考慮したモデルでは有意差が認められた。また、脂肪量指標値(漁獲日・尾叉長・漁法の影響を考慮した年の効果)は、2012～2015年に低く、2016年に急増し、その後やや低下した。脂肪量指標値が親魚の栄養状態を通じて再生産や当歳魚の成長に影響する可能性を統計的に検討したところ、影響は検出されなかった。

キーワード：報告、マサバ、粗脂肪量、尾叉長、漁獲日、年変動、漁法

1. はじめに

マサバ *Scomber japonicus* 太平洋系群は我が国において最も重要な水産資源の一つであり、近年の資源管理や卓越年級群の発生などにより資源量と漁獲量が回復している。¹⁾ マサバ太平洋系群は、寿命が7～8歳で、我が国太平洋南部沿岸から千島列島沖合に分布し、近年を含む資源量水準が高い年代には、幼魚・成魚とも東経170度を超えて太平洋中部に分布域が拡大した。¹⁾ 稚魚は春季に本邦太平洋南岸から黒潮続流域および黒潮親潮移行域に広く分布し、黒潮続流域～移行域に分布する幼稚魚は夏季には千島列島沖の亜寒帯域に北上し、秋冬季には未成魚として北海道～三陸の沿岸・沖合を南下し、主に房総～常磐海域、一部は三陸海域で越冬する。¹⁾ 成魚は

主に春季(3～6月)に伊豆諸島海域などで産卵し、夏～秋季には三陸～千島列島沖へ索餌回遊する。¹⁾

谷津ほか²⁾は、2012～2017年の道東～鹿島灘の海域で、まき網により漁獲されたマサバの粗脂肪含量(%, これ以降は脂肪量という)と肥満度の季節変化と経年変動について一般化加法モデル(GAM)により明らかにしたが、春季～夏季の試料は少なかった。そこで、本報告では、①2020年まで期間を拡張し、②主に春季～夏季に宮城県石巻付近の定置網で得られた試料を加え、脂肪量の季節変動と経年変動および尾叉長と漁法の影響を明らかにすることを目的とした。

浮魚類の可食部の脂肪量は、体サイズ・漁場・季節・年などにより変動し、「魚の旬」の指標として利用され、ブランド品としての価値を左右するほか、

資源変動にも影響するとされている。^{2,5)} また、脂肪量の多寡はマサバの商品価値に大きく影響するため、迅速な測定結果の提供が望まれる。そこでJAFICは、非破壊で瞬時に測定が可能な近赤外分光分析法により主要魚種の脂肪量を計測してきた。^{2,4,5)} なお、茨城県沖で得られたマサバの脂肪量の測定結果について、化学的分析法（ソックスレー法）と近赤外分光分析法で比較したところ、両者間の誤差は4%以下であったと報告されている。⁶⁾

2. 材料と方法

測定した試料は、2012～2020年に道東～鹿島灘の海域でまき網により主に秋季～翌春季に漁獲された3,061個体と石巻付近の定置網で春季～夏季に漁獲された520個体であった（表1）。なお、まき網漁場は、マサバの回遊に従って季節的に変化し、本報告で用いたまき網の試料が得られた海域は北緯35～42度台、東経140～145度台（鹿島灘～道東沖）、定置網の試料は石巻近傍（北緯38度台、東経141～142度台）で得られた（図1）。

表1 測定したマサバの漁法別・月別の個体数

年	漁法	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
2012	まき網										37	28	74	179
	定置網					41	27	92	14					174
2013	まき網	55	104							63	123	56	128	529
	定置網					19		54	7					80
2014	まき網	132	53	17	26					25	108	117	54	532
	定置網					38								38
2015	まき網	82									77	138	73	370
	定置網					17	11							28
2016	まき網										32	107	46	185
	定置網													0
2017	まき網	15					19				20	144	59	257
	定置網						38	5						43
2018	まき網	136	41	25				23			38	108	68	439
	定置網				31	23			23	10				87
2019	まき網	44	104											75
	定置網					30								30
2020	まき網	87	75				32					59	94	347
	定置網						20	20						40
合計	まき網	536	392	42	0	26	51	23	0	125	426	803	637	3,061
	定置網	0	0	0	31	226	16	101	122	24	0	0	0	520
	合計	536	392	42	31	252	67	124	122	149	426	803	637	3,581

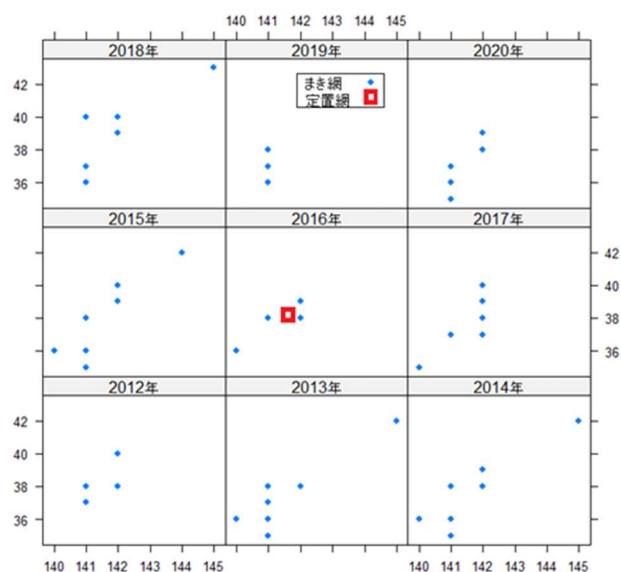


図1 脂肪量を測定したマサバの漁法別漁獲位置（緯度経度1度単位） まき網は年別、定置網は便宜的に2016年に示した

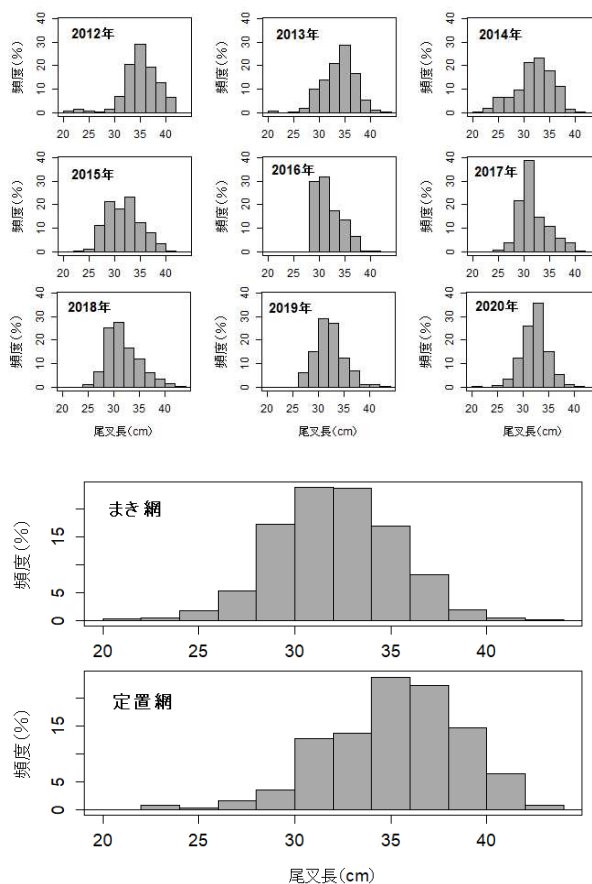


図2 脂肪量を測定したマサバの漁法込年別（上）および全年込漁法別（下）の尾叉長組成

試料の尾叉長組成は、まき網が20～44cmでモード30cm、定置網が22～44cmでモード34cmであった（図2）。漁獲日（各年1月1日からの経過日数）と尾叉長の関係を図3に示す。主に定置網により春季～夏季に得られたマサバ試料の尾叉長は、まき網により得られた試料に比してやや大きかったことは図2と同様である。夏秋季に尾叉長25cm未満の個

体が出現したが、これらは前述の回遊経路と近年の成長・成熟状態¹⁾から見て0歳魚を含む未成魚と思われる。なお、マサバ太平洋系群の漁獲物の平均尾叉長は、0歳魚が20 cm前後であるが、1歳魚以上の成長は各年の資源状態などにより大きく変動し、2011～2014年の漁獲物の平均体長は1歳魚が約30 cmであったのに対し、2019年は約25 cmと小さかった。¹⁾

脂肪量の測定は、ポータブル型近赤外分光分析装置 (FQA-NIRGUN、シブヤ精機(株)製) を用いて行い、校正方法などは本装置のユーザーズ・マニュアルに従った。試料は、石巻港への水揚げ前日～当日早朝に得られたものであり、漁獲後は水氷によりほぼ一定温度に保たれていたと考えられる。測定部位は、可食部全体の脂肪量の平均値に相関が高い体の左側の側線と尻鰭の中間付近の体側部とした。⁷⁾ 1回の測定におけるスキャン回数は3回とし、外れ値が生じた場合は値が安定するまで測定を繰り返した。

統計学的分析にはフリーソフトウェア R (ver. 3.3.1) を用いた。谷津ほか²⁾によると、マサバ太平洋系群の脂肪量に対する尾叉長と漁獲日の関係は非線形であった。そこで、脂肪量の解析には R による一般化加法モデル (GAM、次式) を用い、変数選択は赤池情報量基準 (AIC) によった^{8,9)}。

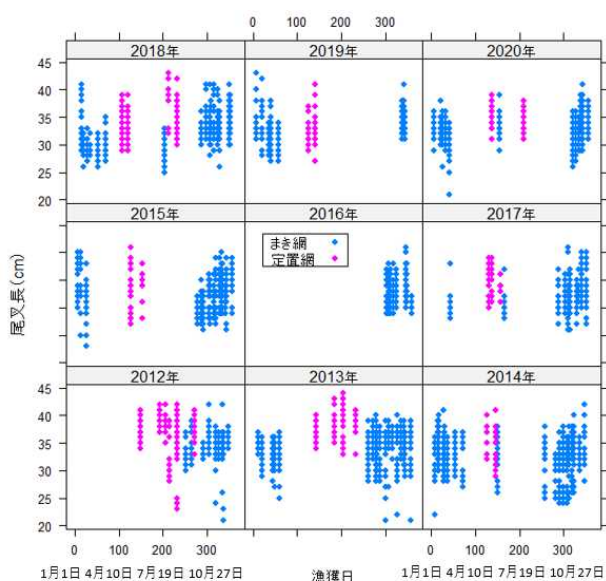


図 3 年別・漁法別の漁獲日と尾叉長の関係 各点は個体を表す

$$\log(\text{脂肪量}) = \text{切片} + s(\text{漁獲日}) + s(\text{尾叉長}) + \sum_{i=2013}^{i=2020} \alpha_i \text{年}(i) + \beta \text{定置網} \quad (\text{モデル 1})$$

$$\log(\text{脂肪量}) = \text{切片} + s(\text{漁獲日}, \text{尾叉長}) + \sum_{i=2013}^{i=2020} \alpha_i \text{年}(i) + \beta \text{定置網} \quad (\text{モデル 2})$$

ここで、脂肪量は目的変数、漁獲日は各年の1月1日から漁獲日までの日数、 α と β は係数、年と漁法は離散変数 (カテゴリカル変数)、 i は年、 s は平滑化関数 (スプライン関数) である。モデル1は漁獲日と尾叉長のスプライン関数を独立に考慮したもの、モデル2は漁獲日と尾叉長のスプライン関数を同時に考慮したものである。

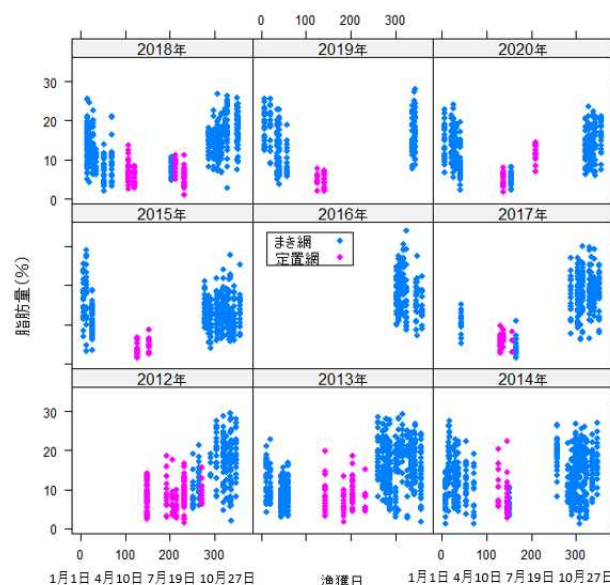


図 4 年別・漁法別の漁獲日と脂肪量の関係 各点は個体を表す

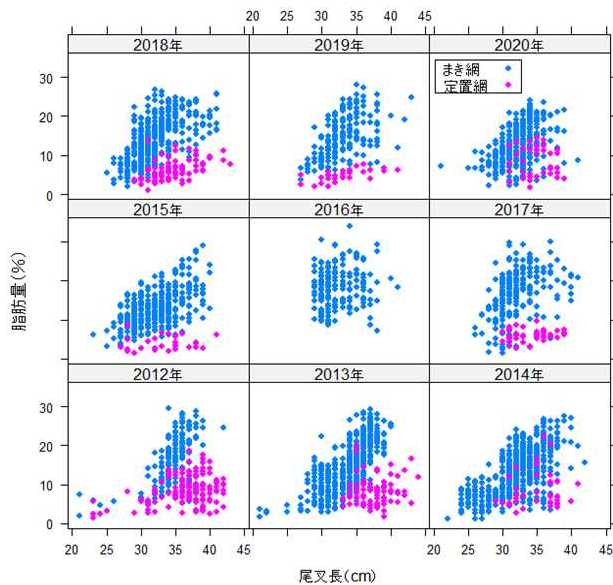


図5 年別・漁法別の尾叉長と脂肪量の関係 各点は個体を表す

カテゴリカル変数を含むRによる分析においては、制約条件として初年(2012年)のまき網の係数を切片としている。そのため、まき網の各年切片は、推定された初年の切片に各年の α を加算した値、定置網の各年切片は、推定された初年の切片に各年の α と定置網の係数 β を加算したものとなる。そのため、本報告では、漁獲日・尾叉長・漁法の影響を考慮した2012年に対する2013~2020年の効果を「脂肪量指標値」とした。

マサバ太平洋系群の2012~20年における年齢別体重、加入尾数、再生産成功率は、由上ほか¹⁾に依った。

3. 結果

漁獲日と脂肪量の関係を年別・漁法別に図4に示す。主に定置網により春季~夏季に得られたマサバ試料の脂肪量は、まき網により得られた秋季~冬季の試料に比してやや少なかった。但しこの傾向は、2014年ではそれほど顕著ではなかった。

尾叉長と脂肪量の関係を年別・漁法別に図5に示す。尾叉長が大きいほど脂肪量が多くなる傾向にあり、尾叉長20cm台の未成魚では特に脂肪量が少なかった。図5においても、主に定置網により春季~夏季に得られたマサバ試料の脂肪量は、まき網によ

る試料に比して少ないことが明らかである。しかし、この主な原因は試料が得られた時期にあり(図3、4)、一般化加法モデル1と2により、漁法による統計的有意差は異なった(表2)。

表2 2012~2020年に漁獲されたマサバの脂肪量に対する最適な一般化加法モデルの係数の推定値とその統計的有意水準 2013~2020年の推定値が α 、定置網の推定値が β である

モデル1				
	推定値	標準誤差	t値	有意水準
切片(2012年のまき網)	2.515	0.021	120.173	<0.001
定置網(対まき網)	-0.228	0.033	-6.990	<0.001
2013年(対2012年まき網)	-0.030	0.023	-1.286	>0.1
2014年(対2012年まき網)	0.055	0.025	2.226	<0.05
2015年(対2013年まき網)	-0.064	0.026	-2.449	<0.05
2016年(対2013年まき網)	0.246	0.032	7.647	<0.001
2017年(対2014年まき網)	0.202	0.028	7.213	<0.001
2018年(対2014年まき網)	0.087	0.025	3.480	<0.001
2019年(対2015年まき網)	0.109	0.029	3.722	<0.001
2020年(対2015年まき網)	0.016	0.026	0.603	>0.1

モデル2				
	推定値	標準誤差	t値	有意水準
切片(2012年のまき網)	2.486	0.022	111.306	<0.001
定置網(対まき網)	-0.060	0.046	-1.294	>0.1
2013年(対2012年まき網)	-0.037	0.024	-1.518	>0.1
2014年(対2012年まき網)	0.032	0.025	1.287	>0.1
2015年(対2013年まき網)	-0.068	0.027	-2.561	<0.05
2016年(対2013年まき網)	0.275	0.032	8.456	<0.001
2017年(対2014年まき網)	0.245	0.028	8.634	<0.001
2018年(対2014年まき網)	0.083	0.026	3.228	<0.005
2019年(対2015年まき網)	0.140	0.030	4.603	<0.001
2020年(対2015年まき網)	0.035	0.027	1.287	>0.1

最適なモデル1と2について、脂肪量に対する尾叉長と漁獲日のスプライン関数をモデル1について図8、モデル2について図9に示した。いずれの図でも、尾叉長が大きいほど脂肪量が多いこと、秋季から冬季に脂肪量が多いことが示されている。最適なモデル1のAICは19,936、最適なモデル2のAICは19,916とモデル2の方が若干小さく、より適切なモデルと判断される。AICにより最適と判断された一般化加法モデルの説明変数は、モデル1、2とも、尾叉長と漁獲日のスプライン関数に加え、切片、漁法および年であった(表2)。また、漁法の影響は、

最適なモデル2ではまき網とは有意な差はないと判断されたのに対し、最適なモデル1ではまき網より有意に低かった(表2)。最適なモデル2による脂肪量指標値は2015年までは低く、2016年に上昇し、その後徐々に低下した(図10)。

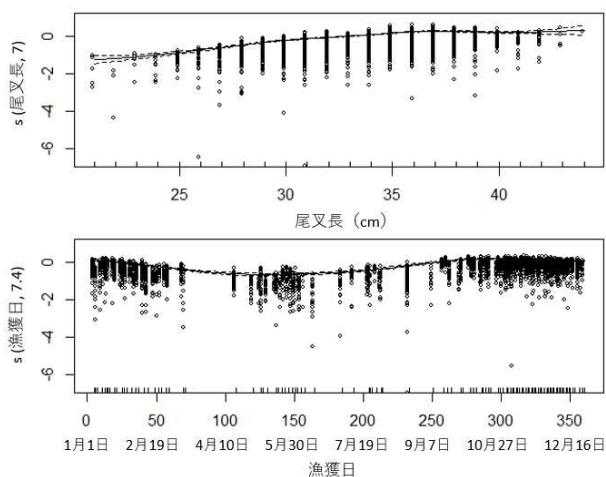


図8 最適なモデル1による脂肪量に対する尾叉長(上)と漁獲日(下)の個別スプライン関数(実線)とその95%信頼区間(破線) 縦軸の数値は自由度を、各グラフの黒丸は個体を表す

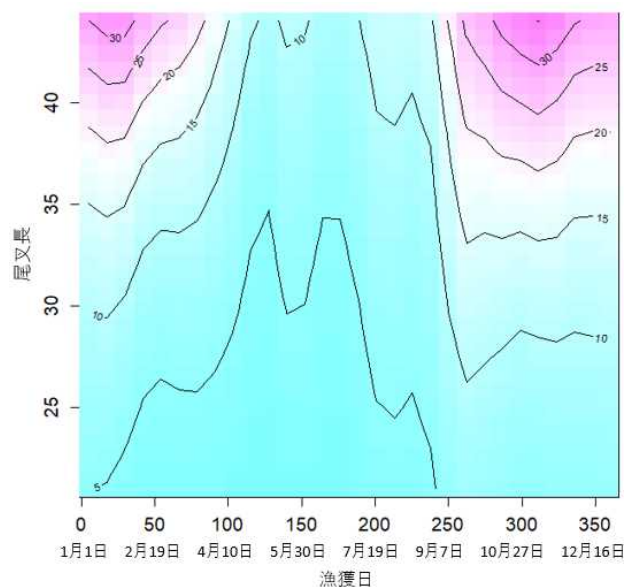


図9 最適なモデル2による脂肪量に対する尾叉長と漁獲日の同時スプライン関数 図中の数値が脂肪量を表す

4. 考察

4.1 脂肪量への尾叉長と漁獲日と漁法の影響

はじめに、脂肪量に対する尾叉長と漁獲日の関係を考察する。松原ほか¹⁰⁾は、八戸港に水揚げされたマサバについて、ソックスレー法に準拠したジエチルエーテル抽出法により、銘柄(体重)別の脂肪量の8~11月の推移を以下の様に示した。LL(550g以上、尾叉長約35cm以上)は月によらず15~18%と高い脂肪量(8月は欠測)、L(400~550g、尾叉長約32~35cm)は8月の10%から9月の17%へ急増し、11月まで高位安定、M(300~400g、尾叉長約29~32cm)は8月の14%から10月の20%へ増加し11月に17%に低下、S(300g未満、尾叉長約29cm未満)は8月の12%から10月の18%へ増加し11月に15%に低下。この結果は本報告(図9)と脂肪量の相対値の変動として一致している。

一方、小山¹¹⁾は、銚子港に水揚げされたマサバについて、比重法により周年にわたる脂肪量の経月変動を示した。それによると、脂肪量の月別平均値は1月の14%から6月と7月の7%に低下した後、8月に15%と急増し、10月の20%のピーク後、12月の17%に減少した。この結果も、8月の急増を除き、本報告の脂肪量の相対的な季節変化(図8下)とほぼ一致している。

このように、本報告で推定された脂肪量の季節変化は、谷津ほか²⁾で少なかった3~8月の試料を加えたことにより、脂肪量に対する尾叉長と漁獲日の効果がより明確になった(図9)。また、比重法や化学分析法で測定されたマサバ太平洋系群の脂肪量の季節変動とも整合していた。

次に、脂肪量の季節変動要因について考察する。中神・石川³⁾は、マサバ太平洋系群の夏秋季における脂肪量の増加要因として、産卵期の終了と栄養価の高い魚類を捕食することを指摘した。生殖腺重量指数の季節変化は、主産卵場である伊豆諸島周辺における産卵盛期(3~5月)に向けた生殖腺の増大と脂肪量の減少、および索餌期である夏秋季に三陸か

ら北海道沖に北上回遊する生活年周期に関連すると考えられている。^{1,2)} このように、未成魚と成魚により脂肪量の季節変動が異なるのは、主に生殖腺の発達の有無や魚食性の強さ、あるいは索餌により得られたエネルギーの成長と生殖腺への配分割合の相違によるものと思われる。

漁法の影響については、モデルにより結果が異なった(表 2)。上述のように最適なモデル 1 と 2 の AIC の差は小さく、より多くのデータに基づき検証する必要がある。

4.2 脂肪量の年変動

谷津ほか²⁾は、松原ほか¹⁰⁾による脂肪量の経年変動を体重範囲と月範囲をそろえて比較したところ、両者が 2015 年を除き相対的に一致し、2013 年から増加傾向にあったこと、また 2016 年と 2017 年の平均脂肪量は 2015 年以前より著しく多かったことを報告した。このように、松原ほか¹⁰⁾の脂肪量の経年変動は、相対的に本報告(図 10)とほぼ一致していた。

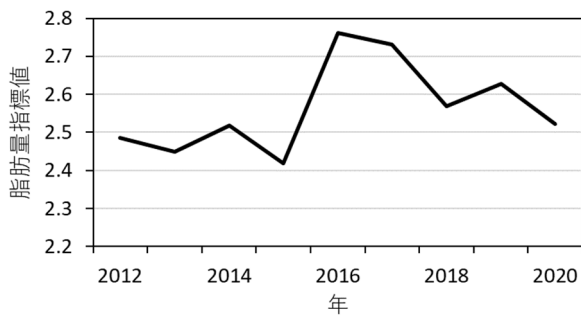


図 10 最適なモデル 2 による脂肪量指標値(表 2 の切片の推定値に各年の係数を加えたもの)の経年変動

これに対して、2012~2020 年の年齢別体重は低下傾向にあった(図 11)。この体重低下傾向は、密度効果だけでは説明できず、分布・回遊域の変化による餌や水温履歴などの変化やマイワシ増加による餌の競合が今後の研究の課題とされている(http://www.jfa.maff.go.jp/j/suisin/s_kouiki/taihe

iyo/attach/pdf/index-46.pdf)。本報告の脂肪量は、親魚の栄養状態を通じて、加入量などに影響する可能性がある。¹²⁾ そのため、モデル 2 による前年の脂肪量と再生産成功率(RPS)、加入尾数、当歳魚平均体重との関係を図 12 と表 3 で検討した。各変数の密度分布曲線は正規分布とは見なされなため、相関係数は Spearman の順位相関係数を用いた。その結果、加入尾数と RPS の間を除き統計的に有意な相関係数が認められなかった。このことから、加入量の変動メカニズムと体成長や肥満度の変動メカニズムの関係の検討についても、今後のデータ蓄積が必要である。

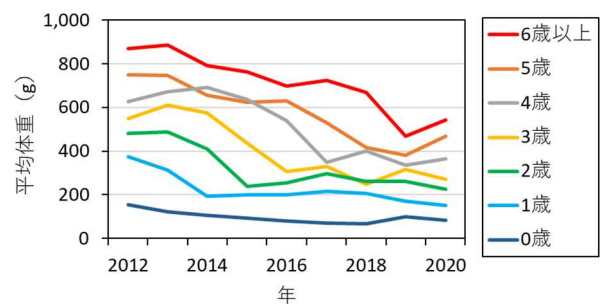


図 11 マサバ太平洋系群の年齢別平均体重の推移

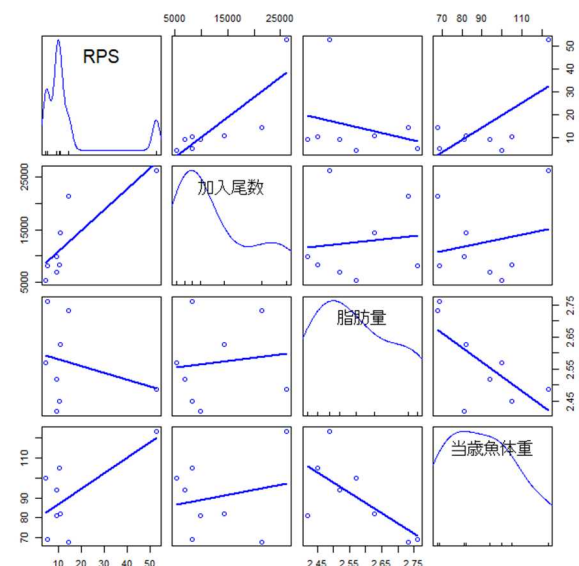


図 12 モデル 2 による前年の脂肪量とマサバ太平洋系群の再生産成功率(RPS)、加入尾数および当歳魚平均体重の関係(2013~2020年) 各変数の密度分布曲線も示した

表3 図12における Spearman の順位相関係数
(対角線の右上側)と統計的有意水準(対角線の
左下側)

	RPS	加入尾数	前年脂肪量	当歳魚体重
RPS		0.88	-0.07	0.17
加入尾数	0.004		-0.07	-0.05
前年脂肪量	P>0.1	P>0.1		-0.57
当歳魚体重	P>0.1	P>0.1	P>0.1	

本報告で使用したポータブル型近赤外分光分析装置(FQA-NIRGUN)はすでに生産を終了している。そのため、JAFIC では2021年度から新たなポータブル型近赤外分光分析装置を導入し、その測定結果を主要魚種について検討する予定である。

謝辞

本報告で使用した試料の測定に便宜を図っていただいた石巻市場の関係者各位に感謝します。また、初期の原稿に対して査読とご助言を頂いた漁業情報サービスセンター東北出張所の永島宏所長に感謝します。

参考文献

- 1) 由上龍嗣ほか：令和3(2021)年度マサバ太平洋系群の資源評価 FRA-SA2021-SC03-1. <http://www.abchan.fra.go.jp/digests2021/details/202105.pdf>
- 2) 谷津明彦ほか：2012-2017年の道東から鹿島灘にかけての海域で漁獲されたマサバの粗脂肪含量と肥満度の季節変化と経年変動, 水産海洋研究, 83, 19-27, 2019.
- 3) 中神正康・石川 哲：2006-2008年における八戸沖漁場のマサバ, ゴマサバ脂肪含有量, 第58回サンマ等小型浮魚資源研究協議会報告, 196-202, 2010.
- 4) 谷津明彦ほか：2012-2017年秋季の北日本近海におけるサンマ大型魚の可食部の粗脂肪含量と来遊量の経年変動, 水産海洋研究, 83, 75-86, 2019.
- 5) 谷津明彦ほか：2017年、2018年および2020

年の石巻付近(北上期)と房総常磐海域(越冬期)におけるマイワシ粗脂肪量の検討, JAFICテクニカルレビュー, 1, 13-19. <https://www.jafic.or.jp/technicalreview/707/>

- 6) 矢口登希子：近赤外分光器を使った簡易脂肪測定技術の開発. 水産の窓(茨城県水産試験場), 25年-No. 10, 2013.
- 7) 矢口登希子：携帯型近赤外分光計によるマサバ脂肪量の非破壊測定の実用化. 茨城水試研報, 46, 16-17, 2016.
- 8) Woods, S.N.: Generalized additive models: An introduction with R. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 391+xviii pp., 2006.
- 9) 金 明哲：Rによるデータサイエンス(第2版), 森北出版, 2017.
- 10) 松原 久・木村優輝・竹内 萌・小野寺陽子：八戸港に水揚げされるマサバとゴマサバの粗脂肪等について, 青森産技セ食総研報, 8, 56-61, 2017.
- 11) 小山智之：銚子漁港に水揚げされる多獲性魚類の脂肪量, 漁海況旬報ちば, 24, 1-2, 2012.
- 12) 栗田 豊ほか：産卵親魚个体群の繁殖能力と加入量変動—母性効果研究の現状と今後の展開. 水産海洋研究, 74(特集号), 1-3, 2010.

(2023年3月8日受理、Ser. No. 12)