

目 的

青森県におけるアイナメ資源増産体制の構築に向け、アイナメの生態データに基づく効果的な資源管理方策が必要であることから、天然魚の年齢査定等を実施し、成長等の生態を解明する。

材料と方法

(1) 漁獲統計調査

青森県海面漁業に関する調査結果書（以下：県統計）を用いて 1981 年～2022 年に漁獲された”あいなめ”を暦年単位で日本海、津軽海峡東部、津軽海峡西部、陸奥湾、太平洋北部、太平洋南部の海域別に集計した。ただし、県統計の“あいなめ”の殆どは標準和名のアイナメであるものの、八戸の沖合底曳網漁業（以下：八戸沖底）は別種であるウサギアイナメを多く含んでいる年があるため、太平洋南部から除外して集計した。

(2) 生物測定

標本は、2022 年 4 月～2023 年 3 月に青森県津軽海峡東部海域において、大畑町漁協と関根浜漁協からの買い上げ、および 2022 年 10 月に実施した釣獲調査によって収集した 588 個体のアイナメを用いて行った。採集したサンプルは、実験室内で標準体長（SL、以下体長）を 1 mm 単位で、体重（BW）、内臓除去重量（EW）を 0.1g 単位で計測し、生殖腺を取り出して雌雄別に生殖腺重量（GW）を 0.01g 単位で計測した。なお、雌雄判別は生殖腺の外観から行い、判別が困難な個体については、雌雄不明とした。また、頭部を切開して耳石（扁平石）を摘出し、水で洗浄後に乾燥状態で保存した。以下に示す解析には、昨年度に実施した 586 個体も加えた計 1,174 個体を用いた。

アイナメにおける年齢査定は、耳石の不透明帯が年に一度形成される年輪であるとし、これを計測する手法が用いられている^{1, 2, 3)}。関河ら（2002）²⁾はアイナメの耳石表面観察による 5 歳魚以上の年齢査定は過小評価となる可能性を指摘していることから、本事業では、関河ら（2002）²⁾を参考に、以下の手順で耳石横断面観察による年齢査定を行った。まず、耳石をエポキシ樹脂で包埋し、数日間硬化させた後、硬組織用薄片切断機（1600 型、Leica 社）を用いて、短軸方向に耳石核を挟むおよそ 500 μm の薄片として切断し、薄片標本を作成した。耳石薄片標本は、実態顕微鏡にて落光の下で観察し、耳石断面における不透明帯の数を計測した。また、不透明帯の出現時期を特定するために、縁辺部における透明帯および不透明帯の月別出現率を Okamura and Senba（2009）⁴⁾の統計モデルに当てはめた。後述する検証の結果、耳石不透明帯は年に一度、4 月以降に少なくとも 10 月までには形成されると推測され、本事業において、産卵期の推定結果をもとに年齢起算日を 1 月 1 日としたため、1 月から 6 月（7-9 月のサンプルはないため）の期間に耳石縁辺に透明帯を持つ個体の年齢は、不透明帯形成直前と判断し、輪紋数に 1 を加えた。

成熟・産卵時期を特定するために、生殖腺重量指数（GSI）を以下の式（1）により求めた。

$$GSI = \frac{GW}{EW} \times 100 \quad (1)$$

また、関河ら（2003）⁵⁾および後藤ら（2008）⁶⁾により、卵巣の組織学観察に基づき GSI の値が卵母細胞の発達過程を反映していることが明らかになっている。そこで、本研究では、GSI を成熟度の指標値として、GSI の月別推移から産卵時期を推定した。さらに、関河ら（2003）⁵⁾と後藤（2007）³⁾を参考に GSI が 1 以上の個体を成熟魚と仮定した。雄については、GSI と組織学観察に基づく成熟度の関係は明らかとされていないが、後藤（2007）³⁾と同様に GSI が 0.5 以上の個体を成熟魚と仮定した。

GSI の月別推移から推定された産卵最盛期のサンプルを用いて、体長および年齢ごとの成熟率を求めた。体長ごとの成熟率は、雌雄別に体長 20 mm 毎に区分した体長階級における成熟率とし、以下の Logistic 式 (2) に当てはめ、R 4.13⁷⁾ の glm パッケージを用いてパラメータを推定した。

$$M(SL) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta \times SL)}} \quad (2)$$

ここで、 $M(SL)$ は体長 SL 当たりの成熟率、 α と β はそれぞれ定数と成熟率の体長増加に関連する係数を示す。さらに、推定されたパラメータを以下の式 (3) に当てはめ、50% 成熟体長 ($SL_{50\%}$) を求めた。なお、雌雄判別が出来なかった個体も雌雄それぞれのデータに加えて解析した。

$$SL_{50\%} = -\alpha / \beta \quad (3)$$

年齢ごとの成熟率は、年齢毎の未成熟魚と成熟魚の個体数比から算出した。

成長特性を求めるため、体長と体重の関係にアロメトリー式 (4) を、年齢査定結果に基づく年齢と体長の関係に 3 種の成長式 (5) (6) (7) をそれぞれ当てはめた。成長式を求める際に、GSI の月別推移から推定された産卵期に基づいて年齢起算日を定め、この日を基準として満年齢に年齢起算日から採集日までの日数を 365 日で除した値の和を年齢 (t) とした。

$$\text{アロメトリー式: } BW = aSL^b \quad (4)$$

$$\text{von Bertalanffy 成長式: } SL_t = SL_{\infty} - (SL_{\infty} - SL_0)e^{-K \cdot t} \quad (5)$$

$$\text{Logistic 成長式: } SL_t = (SL_{\infty}SL_0e^{K \cdot t}) / (SL_{\infty} + SL_0(e^{K \cdot t} - 1)) \quad (6)$$

$$\text{Gompertz 成長式: } SL_t = SL_0e^{(\log(SL_{\infty}/SL_0)(1 - e^{-K \cdot t}))} \quad (7)$$

ここで、 a 、 b は定数、 SL_t は t 歳時の標準体長、 SL_{∞} は極限体長、 K は成長係数、 SL_0 は年齢 0 歳時の体長を示す。アロメトリー式については R 4.13⁷⁾ の nls パッケージを用いて最小二乗法によって、成長式については最小二乗法およびマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC 法) を用いたベイズ推定法によって推定し、雌雄差の有無を F 検定により調べた。ベイズ推定法は、推定するパラメータそれぞれに事前分布を与えて、推定値の生物学的妥当性を向上させるアプローチであり、本事業では Smart and Grammer (2021)⁸⁾ による R 4.13⁷⁾ および Stan⁹⁾ を利用した BayesGrowth パッケージによって行った。成長式パラメータの事前分布はそれぞれ、 SL_{∞} は測定したサンプル雌雄別の最大体長 (雌: 466 mm、雄: 432 mm) を期待値とする標準誤差がその体長の 10% の値である正規分布、 K は一様分布、 SL_0 は卵仔魚の研究¹⁰⁾ を参考に誕生直後の平均体長 (8.2mm) を期待値とする標準誤差がその体長の 10% の値である正規分布とした。各パラメータの事後分布を MCMC により推定するために、バーンイン期間 (初期値に依存していると考えて捨てる最初の計算回数) を 5000 回とし、続く定常状態の標本から 10 回間隔置きにサンプル抽出すると設定した。上記の値は、4 回の繰り返し計算 (マルコフ連鎖数) によって算出される R-hat に基づいて、全てのパラメータで 1.1 以下であるとき、MCMC が収束していると判断している。ベイズ推定法によって推定された 3 種の成長式に対して、情報量基準の 1 種である leave-one-out-cross-validation (LOOCV)¹¹⁾ を求め比較することで、成長式の選択を行った。

(3) 標識放流

2023 年 2 月 (38 個体) において、アイナメの標識放流を以下の手順で行った。大畑町漁協において水揚げされたアイナメを水槽に蓄養し、後日、体長、体重を測定し、ダートタグを取り付けた。その後、翌日以降に大畑漁港沖 (水深 13~15m) にて放流した。

結果と考察

(1) 漁獲動向

1981 年~2022 年に漁獲された”あいなめ”の漁獲動向を図 1 に示す。“あいなめ”漁獲量は 1981 年以降 200 トン台で推移していたが、1991 年にピークである 388.3 トンとなり、その後は減少傾向を示してい

た。2022 年の“あいなめ”漁獲量は 68.5 トンで、前年比 111%に増加した一方、過去 2 番目に少なかった。海域別にみると、2022 年において最も漁獲が多いのは津軽海峡東部で 31.8 トン、次いで陸奥湾の 14.5 トンであった。最も漁獲が多い津軽海峡東部について、直近 3 年の月別漁獲量を調べた結果、7～10 月は少ないが、11～12 月に増加を示し、1 月に減少するが、2 月以降は増加し 6 月まで漁獲が多いことが示された（図 2）。

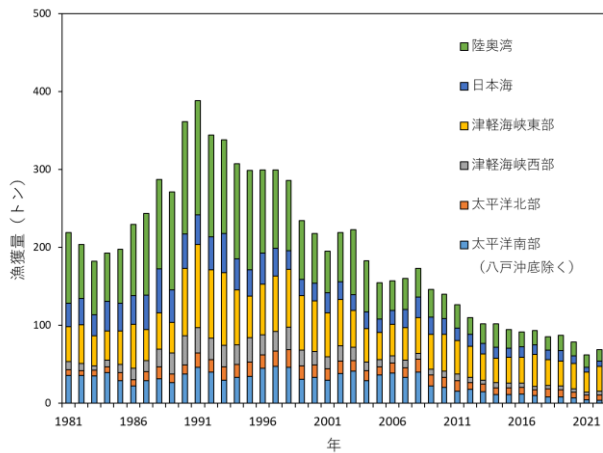


図 1. 青森県における“あいなめ”の漁獲動向

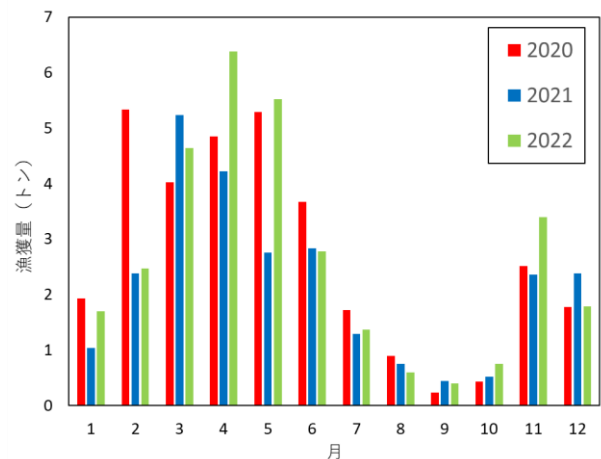


図 2. 津軽海峡東部における“あいなめ”の月別漁獲量

(2) 生物測定調査

① 体長－体重関係

採集されたアイナメは、雌では体長 211 mm から 466 mm の範囲で、最小・最大体重は 164.3 g (SL: 212 mm)・2,330.0 g (SL: 441 mm) であり、雄では体長 196 mm から 432 mm の範囲で、最小・最大体重は 130.4 g (SL: 196 mm)・1,834.2 g (SL: 428 mm) であった（図 3）。体長と体重の関係にアロメトリー式を求めた結果、(8) および (9) 式で表された。

$$\text{雌: } BW = 9.83 \times 10^{-6} SL^{3.13} \quad (8)$$

$$\text{雄: } BW = 7.59 \times 10^{-6} SL^{3.17} \quad (9)$$

アロメトリー式の雌雄差の有無を検討したところ、有意差は認められなかった ($F=1.06$, $p=0.37$) ことから、全個体に基づいて (10) 式が得られた。

$$\text{全個体: } BW = 9.21 \times 10^{-6} SL^{3.14} \quad (10)$$

② 輪紋形成時期

アイナメの耳石横断薄片の縁辺部における不透明帯の月別出現率を Okamura and Senba (2009) ⁴⁾ の統計モデルに当てはめた結果（図 4）、年一回周期のモデルが、年二回周期および周期性なしのモデルよりも AIC（赤池情報量基準）が小さかった（年一回：349.8、年二回：939.3、周期性なし：1112.1）。この周期形成モデルによると、おおよそ春季から夏季にかけて耳石縁辺部の不透明帯の出現率が上昇し、秋季には透明帯に入れ替わる点において関河ら（2003）²⁾ および後藤ら（2008）³⁾ と共通した結果となり、青森県津軽海峡東部海域におけるアイナメにおいても耳石不透明帯が年一回形成されると考えられた。一方で、本事業におけるこの結果は、7-9 月の期間においてアイナメが採集されていないため、実測値でなく予測した

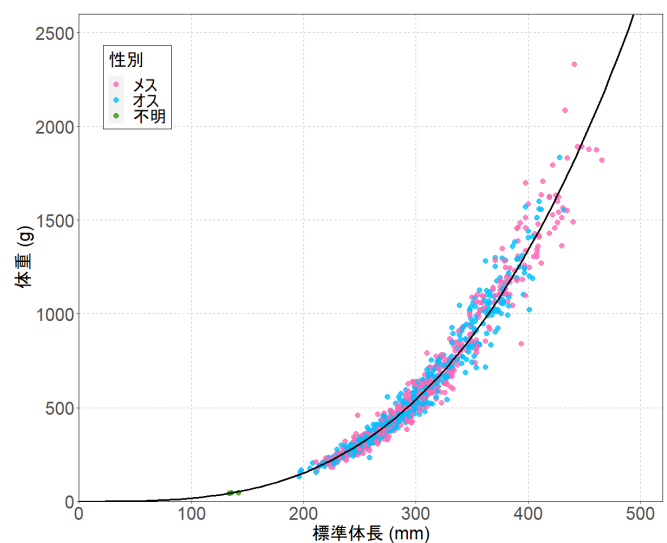


図 3. アイナメの体長と体重の関係（実線はアロメトリー式 (10)）

モデルから推定したものである。そのため、本海域のアイナメの耳石を用いた年齢査定を行う場合、本事業の結果にこのようなサンプリングのバイアスを含んでいる可能性があることに留意する必要がある、今後は欠測した期間のサンプルを採集していく必要がある。

③産卵期と成熟

雌雄別に体長と生殖腺重量指数（GSI）の関係を求めた結果、雌雄それぞれの成熟の指標（GSI が雌 1.0、雄 0.5）を超えた個体は雌で体長 211 mm、雄で体長 198 mm 以上であった。それぞれの体長を、雌雄の生物学的最小形と仮定し、生物学的最小形以上の個体に関して、生殖腺重量

指数（GSI）の月別推移を雌雄別に調べた（図 5）。雌雄どちらも GSI は 10 月から増大し、11-12 月に高い値を示した。その後、減少し、2 月以降はほぼ全ての個体が成熟の基準を下回っていた。このことから、本海域におけるアイナメの産卵期は 11 月-翌年 1 月と推定され、北海道木古内⁵⁾、岩手県南部⁶⁾、および福島県海域¹²⁾と同様の時期であると考えられた。なお、輪紋形成時期の結果と同様、7-9 月の期間のサンプルが含まれていないことから、今後は欠測した期間のサンプルを採集していく必要がある。

GSI が最大となる 11-12 月を産卵最盛期とし、当時期のサンプルに基づいて、雌雄それぞれの体長および年齢と成熟率（GSI が雌 1.0、雄 0.5 以上の出現率）の関係について求めた。体長と成熟率の関係を図 6 に示す。体長に対する成熟率 $M(SL)$ の関係の logistic 式を雌雄それぞれ求めた結果、以下の式(11)と(12)が得られた。

$$\text{雌: } M(SL) = \frac{1}{1+e^{-(10.36+0.04 \times SL)}} \quad (11)$$

$$\text{雄: } M(SL) = \frac{1}{1+e^{-(9.08+0.04 \times SL)}} \quad (12)$$

これより、50%成熟体長は雌で 230.3 mm、雄で 202.6 mm と推定され、雌雄差が見られた。しかしながら、推定された logistic 式は、小型個体の不足が起因して、95%信頼区間の値が大きかったことから、より高い精度の成熟体長を求めるため、さらにデータを蓄積していく必要がある。

成熟年齢についても雌雄差がみられ、雌が 1 歳で 53%、2 歳で 91%、3 歳で 94%、4 歳以降で 100% が成熟するのに対して、雄は 1 歳で 89%、2 歳以降で 100% が成熟すると推定された。後藤ら（2008）⁶⁾における岩手県南部の本種の成熟率は、雌が 1 歳で 0%、2 歳で 80% が成熟するのに対して、雄が 1 歳で 15% が成熟すると報告しており、2 歳以降で大部分が成熟する点、および雄が雌よりも早期に成熟する点において類似していた。その一方で、本事業における津軽海峡東部では雌の 1 歳魚においても成

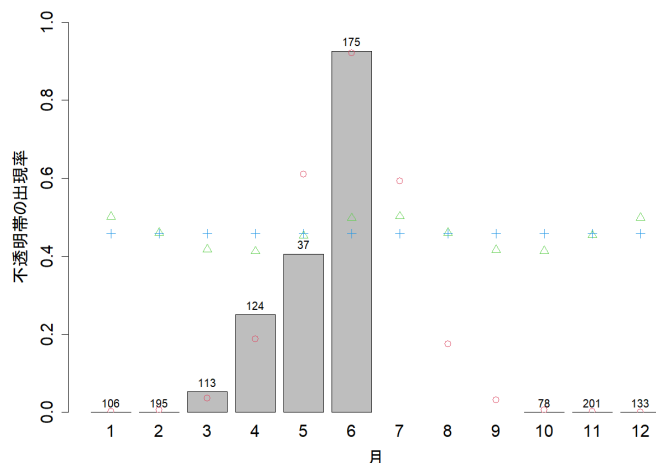


図 4. アイナメ耳石縁辺部における透明帯と不透明帯の出現頻度と推定された Okamura and Senba (2009) の周期形成モデル（○：年一回、△：年二回、+：周期なし）

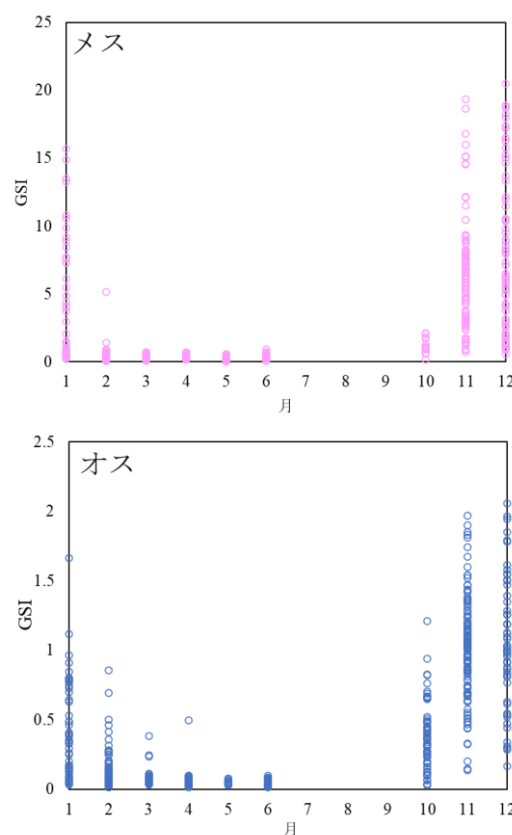


図 5. アイナメの GSI の月別推移

熟個体がみられ、岩手県南部と比較して雌がより若齢で成熟すると推定された。後藤ら（2008）⁶⁾は、アイナメの成熟に関する知見が得られている海域の研究を比較し、本種の成熟開始サイズ（本研究における生物学的最小形）には海域差があることを示しており、本事業の結果から、成熟開始サイズの他に、成熟開始年齢においても違いがみられる可能性が考えられた。ただし、成長や成熟といった生物特性は、環境条件や資源水準によって年変化すると指摘されていることから¹³⁾、調査期間の異なる従来の知見による他海域との比較は困難である。したがって、本種の生物特性の解明には、本事業と先行研究の比較のみならず、それぞれの海域を包括した持続的な研究が求められる。また、オスのアイナメの成熟の判断は、GSI の概算値を用いているため、今後は組織観察によるより詳細に成熟周期を求め、再推定する必要があると考えられる。

津軽海峡東部海域におけるアイナメの成熟体長および成熟年齢について明らかとなった。しかし、本種の繁殖生態について、索餌期は沿岸浅所から沖合域大陸棚上の広範囲で分布するが、産卵は沿岸浅所で行うことが知られており¹⁴⁾、このような産卵形態を持つ種の資源全体の成熟率を推定するためには、標本の採集方法や分析方法に留意する必要があるとされている¹⁵⁾。本事業で用いた標本は、カゴ、釣り、底建網の漁法によって採集されたものだが、どの漁法においてもほとんどが沿岸浅所のものであった。すなわち、沖合に分布している未熟個体が標本に含まれていないため、本研究の成熟体長および成熟年齢の結果が過大評価されている可能性がある。したがって、より精度の高い成熟特性を把握するためには、今後はアイナメ資源全体を網羅したサンプリングを行う必要がある。

④年齢と成長

全 1,174 個体のうち 1,162 個体の耳石薄片標本を作成して年齢査定を行った。年齢査定の結果、雌は 1-12 歳、雄は 1-11 歳、雌雄不明は 0 歳であった（図 7）。GSI の月別推移から本種の産卵期最盛期が 11-12 月と推定されたことから、年齢起算日を 1 月 1 日とし、最小二乗法およびベイズ推定法によって成長式を推定した（表 1）。最小二乗法によって推定された

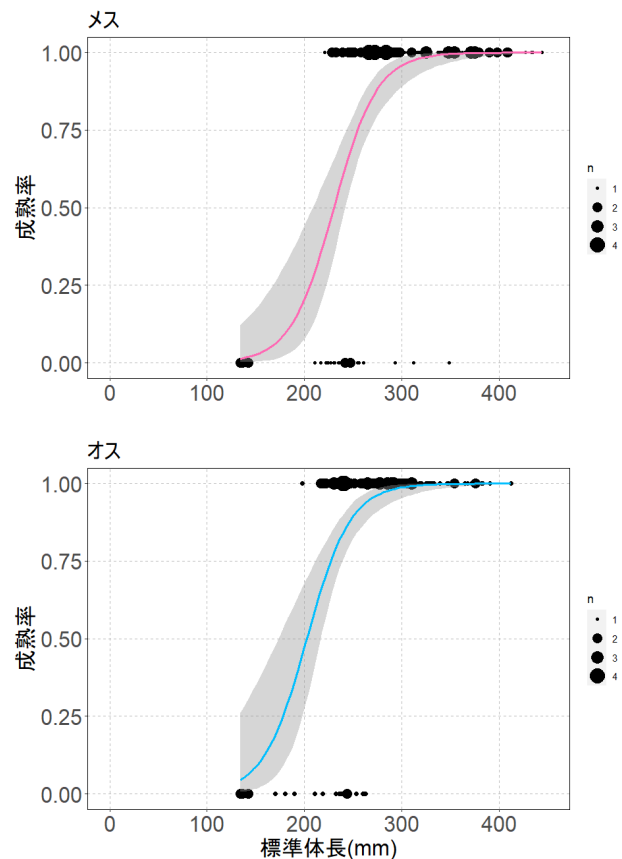


図 6. アイナメの体長と成熟率の関係
（実線は推定された logistic 式 (11) (12)、シェーディング領域は 95%信頼区間を示す）

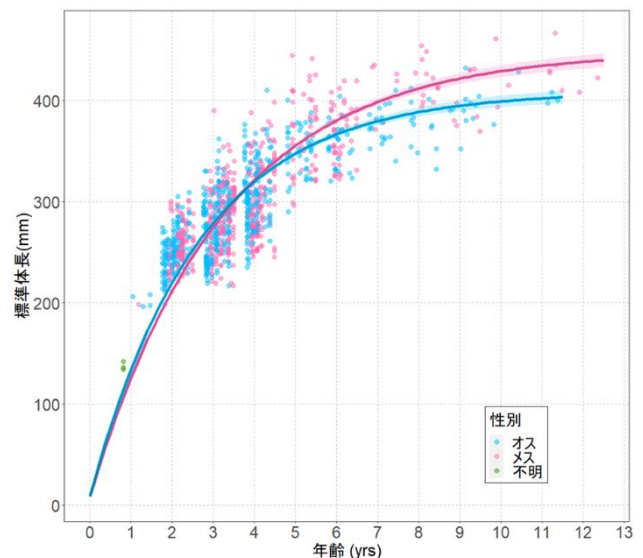


図 7. アイナメの年齢と体長の関係
（実線は推定された von Bertalanffy 式 (13) (14)、シェーディング領域は 95%信頼区間を示す）

表 1. 推定されたアイナメの体長と年齢の関係を示す成長式のパラメータ

推定方法	性別	パラメータ	von Bertalanffy	Gompertz	Logistic
最小二乗法	全て	AIC	11325	11327	11329
		SL_{∞} (mm)	457.7	438.4	426.4
		K (/year)	0.1879	0.265	0.3443
		SL_0 (mm)	141.8	158.9	169.2
	メス	AIC	5580	5579	5578
		SL_{∞} (mm)	505.1	473.4	455.5
		K (/year)	0.1488	0.2263	0.3057
		SL_0 (mm)	150.4	165.1	174.2
	オス	AIC	5687	5688	5689
		SL_{∞} (mm)	423.9	410.8	402.1
		K (/year)	0.2243	0.3016	0.3809
		SL_0 (mm)	138.4	156	166.5
ベイズ推定法	全て	LOOCV	11479	12128	11841
		SL_{∞} (mm)	425	380.1	347.5
		K (/year)	0.35	0.82	1.75
		SL_0 (mm)	9.3	13.82	14.64
	メス	LOOCV	5665	5989	5851
		SL_{∞} (mm)	448.8	420.8	410.5
		K (/year)	0.31	0.71	1.38
		SL_0 (mm)	8.74	11.9	13.7
	オス	LOOCV	5757	5945	6097
		SL_{∞} (mm)	408.2	379.2	356.5
		K (/year)	0.38	0.85	1.75
		SL_0 (mm)	8.78	11.77	12.91

Bertalanffy 成長式 (13) (14) が考えられた。

$$\text{雌: } SL_t = 448.8 - (448.8 - 8.7)e^{-0.31t} \quad (13)$$

$$\text{雄: } SL_t = 408.2 - (408.2 - 8.8)e^{-0.38t} \quad (14)$$

これより、本海域におけるアイナメは、おおよそ 5 歳程度までは雌雄で成長に明瞭な差はみられないが、それ以降に雌が雄よりもより大型になると推定された。

アイナメの年齢と成長の関係については、これまでいくつかの海域において von Bertalanffy 成長式が求められている^{1, 2, 3, 12)}。そのうち、北海道木古内²⁾および岩手県³⁾の研究では、本事業と同様に耳石薄片法による年齢査定の結果を用いて成長式が求められている。そこで、本事業で得られた von Bertalanffy 成長式 (13) (14) および最小二乗法によって推定された雌雄別の von Bertalanffy 成長式 (表 1、雌: $SL_t = 505.1 - (505.1 - 150.4)e^{-0.15t}$ 雄: $SL_t = 423.9 - (423.9 - 138.4)e^{-0.22t}$) を前記した 2 つの先行研究^{2, 3)}のものと雌雄それぞれで比較した (図 8)。ただし、北海道木古内²⁾の雄については、成長式により求められる値と論文中的図 (Fig6.²⁾) で示されていた値に違いが見られ、成長式により求められる値が本事業および岩手県³⁾の成長式から推定された値と比較して明らかな違いが見られたため、式に誤りがあると推察し、比

von Bertalanffy 成長式について、雌雄差の有無を検定したところ、有意差が認められた ($F=9.07$, $p<0.01$)。さらに、最小二乗法によって推定され 3 種の成長式の AIC を雌雄それぞれで比較した結果、僅かな差ではあったが、雌は Logistic 成長式で、雄は von Bertalanffy 成長式で最も小さかった。しかしながら、どの成長式においても、 SL_0 の推定値が高く、サンプルの少ない 0-1 歳魚での推定体長が実測値よりも高く推定されていた。ベイズ推定法によって推定され 3 種の成長式の LOOCV を雌雄それぞれで比較した結果、雌雄どちらも von Bertalanffy 成長式で最も小さかった。また、 SL_0 の値は事前分布の値 (仔魚期の体長) に近い値が推定されており、サンプルの少ない 0-1 歳魚での推定体長が実測値と近似していた。これより、本研究において本種の成長形態を示す最も妥当な式としてベイズ推定法で推定された以下の雌雄別の von

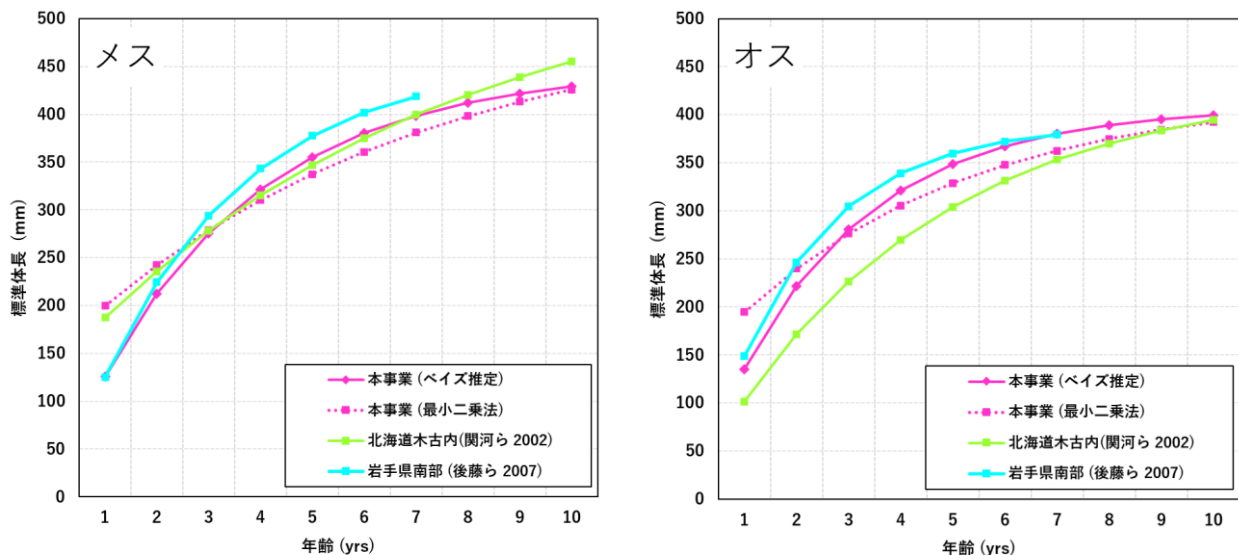


図 8. 青森県津軽海峡東部（本事業）、北海道木古内²⁾、岩手³⁾によるアイナメの成長曲線の比較

較を行わなかった。

雌の 1-2 歳時の推定結果を見ると、本事業のベイズ推定法で推定されたものと岩手県³⁾のものが類似していたのに対して、本事業の最小二乗法で推定されたものは北海道木古内²⁾のものと類似していた。最小二乗法による成長式推定において、サンプリングにサイズ選択性が含まれている場合、成長式パラメータに強いバイアスをかけることが指摘されている¹⁶⁾。本事業で用いられたアイナメのほとんどは、市場から購入したものであり、若齢個体が極端に少なかった（例えば、0 歳魚：n=3）。したがって、本事業におけるサンプリングにはサイズ選択性が過分に含まれており、最小二乗法で推定された成長式にはこのようなバイアスが含まれていると考えられる。それに対して、ベイズ推定で求められた式では、パラメータの SL_0 に出生時の体長の事前分布を与えることで、その後の成長において生物学的に妥当な値と一致するようになった。そのため、本事業のベイズ推定法で推定されたものが若齢個体を十分に含んだ上で推定された岩手県³⁾の成長式と類似した結果を示したと考えられる。2 歳以降の推定結果を見ると、北海道木古内²⁾（雌のみ比較）のものと類似している点と、頭打ちまでの成長が岩手県³⁾のものよりも若干遅い点が見られた。関河ら²⁾は、北海道木古内のアイナメの成長が遅い要因として、冬季間の低水温の期間が長く摂餌活動が抑制されているためであると推察した。その一方で、後藤ら³⁾は、津軽海峡および岩手県南部の月別平均表面水温を比較し、差が見られないことから、アイナメの地域間の成長差は必ずしも水温のみに依存するものではなく別の要因があると推測した。本事業において、青森県津軽海峡東部のものと隣接する北海道木古内の成長が類似していたことから、当地域間ではアイナメの成長差を発生させる大きな要因がないと考えられたが、岩手県のものとの成長差が表れた要因についてはさらなる研究が必要である。

(3) 標識放流

本事業におけるアイナメの標識放流は、これまで計 185 個体について行った。そのうち、大畑町漁業協同組合から 6 個体、関根浜漁業協同組合から 3 個体の再捕報告があった。放流から再捕までの経過日数は、最長で大畑町漁業協同組合に水揚げされた個体の 447 日であった。全ての個体が放流場所周辺でのみ再捕されたことから、定着性が強く大きな移動・回遊を行わない生態が反映されていると考えられた。

文 献

- 1) 小林徳光・小林一郎・菊地喜彦・佐藤孝三 (1990) 仙台湾におけるアイナメの年齢と成長. 宮城水試研報, 13, 1-9.
- 2) 関河武史・高橋豊美・高津哲也 (2002) 北海道木古内湾におけるアイナメ *Hexagrammos otakii* の年齢と成長. 水産増殖, 50(4), 395-400.
- 3) 後藤友明・阿久津祐太・朝日田卓 (2007) 岩手県沿岸に生息するアイナメの成長および食性. 東北底魚研究, 27, 15-20.
- 4) Okamura H・Semba Y (2009) A novel statistical method for validating the periodicity of vertebral growth band formation in elasmobranch fishes. Can J Fish Aquat Sci, 66(5), 771-780.
- 5) 関河武史・高橋豊美・高津哲也・桜井泰憲 (2003) 北海道木古内湾におけるアイナメ *Hexagrammos otakii* 雌の成熟. 日水誌, 69(3), 380-386.
- 6) 後藤友明・石井智之・阿久津祐太・朝日田卓 (2008) 岩手県沿岸に生息するアイナメ *Hexagrammos otakii* の成熟特性. 東北底魚研究, 28, 76-79.
- 7) R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (last accessed 1 March 2023)
- 8) Smart JJ・Grammer GL (2021) Modernising fish and shark growth curves with Bayesian length-at-age models. PLoS ONE, 16(2), e0246734.
- 9) Stan Development Team (2020) RStan: the R interface to Stan. R package version 2.21.2. <http://mc-stan.org/> (last accessed 1 March 2023)
- 10) 浜井生三・久新健一郎 (1966) アイナメ (*Hexagrammos otakii* JORDAN *et* STARKS) の卵・仔魚期における形態変異と死亡に及ぼす温度の影響について. 北大水産業報, 17(1), 1-32.
- 11) Vehtari A・Gelman A・Gabry J (2017) Practical Bayesian model evaluation using leave-one-out cross-validation and WAIC. Statistics and Computing, 27(5), 1413-1432.
- 12) 泉茂彦 (1999) 常磐北部海域におけるアイナメの成長と成熟. 福島水試研報, 8, 41-49.
- 13) Murawski S A・Rago P J・Trippel E A (2001) Impacts of demographic variation in spawning characteristics on reference points for fishery management. ICES J. Mar. Sci., 58, 1002-1014.
- 14) Kimura R M・Munehara H (2011) Spawning substrata are important for breeding habitat selection but do not determine premating reproductive isolation in three sympatric *Hexagrammos* species. Journal of Fish Biol, 78, 112-126.
- 15) Takashima T・Okada N・Asami H・Hoshino N・Shida O・Miyashita K (2016) Maturation process and reproductive biology of female Arabesque greenling *Pleurogrammus azonus* in the Sea of Japan, off the west coast of Hokkaido. Aquaculture Sci, 56(2), 157-166.
- 16) Gwinn DC・Allen MS・Rogers MW (2010) Evaluation of procedures to reduce bias in fish growth parameter estimates resulting from size-selective sampling. Fisheries Research, 105(2), 75-79.