

耳石解析による福島県沿岸産イカナゴ仔稚魚の成長

早乙女忠弘・鷹崎和義・上野山大輔・吉田哲也

Growth of Larval Sandeel *Ammodytes personatus* in the Coastal Waters
off Fukushima Prefecture Based on Otoliths Analysis

Tadahiro SOHTOME, Kazuyoshi TAKASAKI, Daisuke UENOYAMA and Tetsuya YOSHIDA

ま え が き

イカナゴ *Ammodytes personatus* は、当歳魚（仔稚魚）は「コウナゴ」と呼ばれ、福島県沿岸全域で 2 月下旬～4 月に機船船びき網漁業により営まれる、福島県における春季の重要な漁業対象種である。福島県海面漁業漁獲高統計¹⁾によると、平成 12～21 年のコウナゴ属地漁獲量は 590 トン～7,125 トン、漁獲金額は 2.6 億円～10.9 億円と大きく変動しており、漁業経営の安定化には漁模様の見通しやイカナゴ資源状況の解明などが課題となっている。

コウナゴ漁は、全長 20～50mm のイカナゴ仔稚魚が漁獲対象となり、主に 25～35mm が高値となる傾向がある。一方、初漁期に漁獲される全長 25mm 未満のイカナゴ仔稚魚は、量がまとまらないうえに加工に不向きであるため、単価は全長 25～35mm と比べて安価である。そこで相双地区を中心とした漁業者は、解禁日を設定し不経済漁獲となる小型魚を獲らない取組を実施している。解禁日設定は、漁業者が操業網による試験採捕でサイズ確認を行うほか、この時期に操業するサヨリ二そうひき網漁業やシラウオひき網漁業で混獲されたイカナゴ仔稚魚の情報をもとに協議されるが、目合いの大きい漁網では、漁獲対象となるイカナゴ群の把握が困難であるという問題がある。そこで、福島県では調査作業が簡便である丸稚ネットによる調査に併せ、平成 18 年漁期からは遊泳力を有する仔稚魚も効率的に採捕できると思われる中層トロールネットを導入し、仔稚魚調査を実施している。

本解析は、適切なサイズのイカナゴ仔稚魚が漁獲加入する時期を漁期前に把握し、解禁日設定に必要な情報を得ることを目的に、調査船や市場調査で得られたイカナゴ仔稚魚の耳石解析による初期成長率の推定を行った。

材料および方法

曳網調査及び産地市場調査による試料の収集

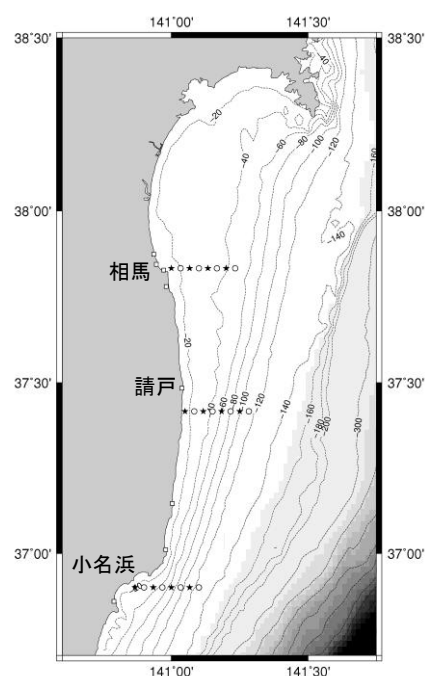


図 1 調査定点

★: 丸ちネット+中層トロールネット調査定点、○: 中層トロールネット調査定点

曳網調査は 2006～2008 年に実施し、2006 年は 1/24～4/19、2007 年は 1/22～3/29、2008 年は 1/23～4/3 に実施した。調査海域は鵜ノ尾埼海域（北緯 37 度 50 分）、請戸海域（北緯 37 度 25 分）及び小名浜海域（北緯 36 度 54 分）の 3 ラインとし、調査定点は各ラインの水深 15m を基点に、丸稚ネット（口径 130cm、目合 335 μ m）の実施定点は 2 海里おきに 14 海里まで計 8 定点、中層トロールネット（網部全長 22.8m、木製網口開口板 160cm \times 63cm、網口径 6m、コードエンド目合 1mm）の実施定点は 4 海里おきに 14 海里まで計 4 定点を設定した（図 1）。曳網調査は、福島県水産試験場漁業調査指導船「拓水」（30 トン）により、1 月下旬は丸稚ネットを曳網速度 1.5 ノットで 5 分間曳網、2 月以降は中層トロールネットを船速 1.5

表 1 耳石解析の供試魚

採集年月日	採集海域	個体数	全長(mm)			標本標準偏差
			平均	最大	最小	
2006/2/20	鵜ノ尾、請戸	34	18.3	25.1	13.9	2.8
2006/3/3	小名浜	12	29.9	33.0	20.2	3.3
2006/3/6	請戸	25	28.7	36.2	20.2	4.0
2006/3/8	鵜ノ尾、請戸	57	25.1	33.0	15.3	4.7
2006/3/16	小名浜	32	29.3	35.8	14.8	7.2
2006/3/22	鵜ノ尾、請戸	68	26.3	40.3	13.4	7.0
2006/4/7	小名浜	11	28.1	34.8	21.8	4.6
2006/4/10	鵜ノ尾	28	31.2	39.5	19.4	5.8
2006/4/11	請戸	17	27.9	37.3	19.9	5.4
2006年計		284	26.4	40.3	13.4	6.5
2007/2/19	鵜ノ尾、小名浜	11	15.2	20.2	10.6	3.3
2007/2/20	鵜ノ尾、請戸	30	14.9	22.0	8.4	3.5
2007/2/21	請戸、小名浜	15	16.2	24.5	11.0	4.0
2007/3/6	小名浜	5	28.9	31.6	26.2	2.1
2007/3/7	請戸	14	23.3	31.8	15.3	4.8
2007/3/9	鵜ノ尾	15	17.8	28.6	12.0	4.7
2007/3/12	小名浜	5	32.0	36.4	26.6	4.5
2007/3/14	鵜ノ尾	5	18.1	20.6	16.4	1.6
2007/3/15	鵜ノ尾	10	22.4	30.1	18.0	4.0
2007/3/26	小名浜	5	28.0	31.7	22.6	4.1
2007/3/28	鵜ノ尾	5	25.8	27.2	24.5	1.1
2007/4/5	鵜ノ尾、請戸	22	17.4	24.6	10.4	4.2
2007年計		142	19.2	36.4	8.4	6.1
2008/2/19	請戸	20	15.6	23.9	10.9	3.7
2008/2/20	鵜ノ尾	10	20.2	24.6	15.5	3.3
2008/2/26	鵜ノ尾、請戸	15	22.7	26.8	19.1	2.1
2008/3/6	請戸	4	21.8	23.0	19.8	1.4
2008/3/7	鵜ノ尾	10	27.6	35.5	22.1	4.3
2008/3/14	久之浜市場	30	30.2	37.3	17.3	5.3
2008/3/19	請戸市場	29	28.2	36.1	18.4	4.7
2008/3/26	請戸市場	30	27.0	36.9	20.1	3.8
2008/4/2	沼之内市場	29	28.0	34.9	23.0	2.8
2008年計		177	25.8	37.3	10.9	6.0

ノットで網口開口板が展開してから 10 分間曳網した。丸稚ネットは各定点で表層曳き、中層トロールネットは最も沿岸に設定した 15m 深定点で表層曳き、それ以外の定点で 5～10m 深曳きとした。曳網調査で採集したイカナゴ仔稚魚は、船上で直ちに氷蔵もしくは 5～10% 中性ホルマリンで保存し水産試験場に持ち帰った。尾数は全量計数し、全長はデジタルノギスで小数点以下第 2 位まで測定した。なお、ホルマリン固定した 2008 年のイカナゴ仔稚魚は別途推定¹³⁾した固定収縮率 0.95 を用いてホルマリン固定前の全長に補正した。

産地市場調査は 2006～2008 年の漁期中（概ね 2～4 月）に相馬原釜、請戸、久之浜、沼之内の各市場で月 1～2 回随時実施し、1～2 隻の標本船が水揚げしたイカナゴ仔稚魚をサンプリングし、氷蔵で持ち帰り 100 尾の全長を曳網調査と同様に測定した。

耳石による日齢査定と成長式の推定

日齢査定の供試魚は表 1 のとおりで、曳網調査で採集し氷蔵保存したイカナゴ仔稚魚の一部と、産地市場調査で得られたイカナゴ仔稚魚の一部を用いた。各調査あたり 5～10 個体を任意に抽出し全長測定を行った後、耳石扁平石（以下、耳石）を摘出しマニキュア樹脂で包埋した。光学顕微鏡で透過光により 400 倍でデジタルカメラ撮影し、画像処理ソフト（ScionImage、花子）で耳石長径及び日周性が確認されている輪紋²⁾を計測した。輪紋数の読み取りが困難な耳石中心輪紋部分については、中心部から輪紋不明瞭部までの長さを計測し、Tsukamoto *et al.*の方法²⁾を参考に輪紋数を推定した。読み取った輪紋数と中心輪紋部分の推定輪紋数を足し合わせて日齢とした。

イカナゴ仔稚魚の成長式は、年毎に採捕海域別に推定し、採捕海域データが得られなかった 2008 年の産地市場サンプルについては、対象漁船の操業許可海域から採捕海域を区分した。成長式の推定は、他海域産イカナゴの知見^{3,10)}を踏まえ、ロジスティック回帰式及び線形回帰式の 2 式を検討し、赤池情報量基準（AIC）を参考に式を選択した。分析は表計算ソフト（Microsoft excel

2007)を使用し、両式のパラメータは最小二乗法により推定した。

漁獲物の孵化日推定

漁獲物の孵化日推定は、次の方法で行った。富永⁴⁾が茨城県海域のイカナゴから得た次式

$$W=0.001006L^{3.526} \quad \text{ただし、} W:\text{体重(g)、} L:\text{全長(cm)} \quad \cdots(1)$$

を用いて全長別1尾あたり重量をあらかじめ求めた。2006～2008年の漁期中に相馬原釜市場で旬1回調査したイカナゴ仔稚魚の100尾全長組成を用いて、各旬の属地水揚量（相馬海域を漁場とする新地、相馬原釜、磯部各地区の合計値）を全長別水揚量に換算し、全長別1尾あたり重量で除して全長別漁獲尾数を推定した。耳石解析から得られた成長式を用いて全長別漁獲尾数から全長別推定孵化日及び孵化日別漁獲尾数を推定した。なお、孵化日推定には、推定誤差を低減するために、産卵域である仙台湾と隣接した漁場であり、この海域を主漁場とする相馬海域を選択した。

平均日間成長率と水温の関係

成長率と水温の関係は、定地水温を採捕海域の代表水温として、平均日間成長率と水温値の相関分析により検討した。定地水温は、鵜ノ尾海域については相馬共同火力発電株式会社が測定した新地発電所取水口の日別水温値（以下、新地水温）を用いた。請戸海域及び小名浜海域については、福島県水産種苗研究所及び福島県水産試験場がそれぞれポンプ揚水を測定した日別水温を用いた。

成長予測の検討

得られた成長式を用いた成長予測を検討した。成長予測は、イカナゴ全長を平均日間成長量で除して得た推定孵化日と、耳石解析で得た推定孵化日を比較した。

結 果

成長式の推定

ロジスティック回帰及び線形回帰により推定された成長式は表2のとおりであった。AICは、いずれの年・採集海域ともロジスティック回帰式のほうが小さかったが、線形回帰式との差はわずかであった。また、年・採集海域によっては、ロジスティック回帰式のパラメータのうち極大成長 α が過大となり、良好に推定できなかつた。この結果や解析の簡便性を考慮し、本解析における成長式は線形回帰式を選択した。各年の海域別の日齢-全長散布図及び線形回帰式は図2のとおりであった。

推定された成長式をみると、平均日間成長率（mm/日）に該当する傾き a は、2006年が0.46～0.54、2007年が0.44～0.63、2008年が0.38～0.42であった。海域別にみると、鵜ノ尾海域が0.41～0.50、請戸海域が0.42～0.47、小名浜海域（2008年は産地市場サンプルのためいわき海域）が

表2 推定された成長式

x :日齢、 α, β, γ :ロジスティック式パラメータ、 a, b :線形式パラメータ、SS:残差平方和

年	採集海域	試料 個体数	ロジスティック式 $y=\alpha/(1+\beta\exp(-\gamma x))$				線形式 $y=ax+b$				
			α	β	γ	SS	AIC	a	b	SS	AIC
2006	鵜ノ尾	109	47.4097	6.4278	0.0460	677.8212	514.5300	0.5013	3.4365	710.7483	519.7004
	請戸	118	41.4131	5.4056	0.0499	813.6245	568.7056	0.4635	5.1448	843.8535	573.0102
	小名浜	55	40.9987	6.4434	0.0619	310.6581	257.3080	0.5431	4.3477	331.3647	260.8570
2007	鵜ノ尾	78	50.0000	5.3692	0.0402	592.2188	385.4735	0.4462	5.9135	603.2005	386.9066
	請戸	39	35.3731	4.5386	0.0574	366.6496	204.0702	0.4712	5.2509	370.3947	204.4665
	小名浜	25	32.7992	16.4890	0.1288	370.6624	144.3573	0.6257	3.4214	525.6239	153.0897
2008	鵜ノ尾	30	7,122.8947	546.2329	0.0172	186.0596	145.8824	0.4135	9.5534	195.7224	147.4013
	請戸	88	39.4087	3.8222	0.0491	1,396.7580	499.0155	0.4211	8.3902	1,424.4852	500.7453
	いわき	59	46.6835	3.5417	0.0358	313.0193	271.8897	0.3849	9.9336	314.2396	272.1192

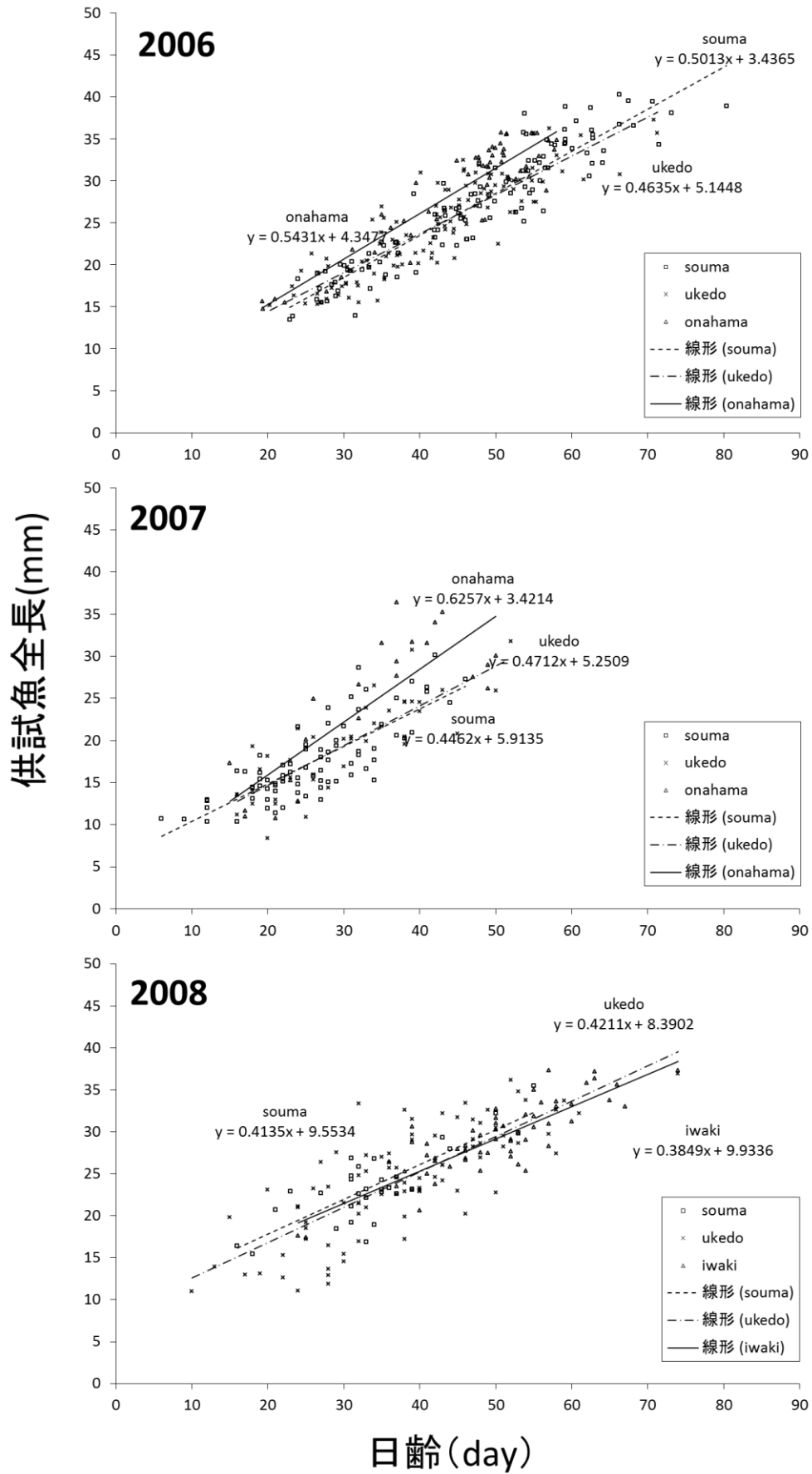


図2 日齢と供試魚全長の関係から推定した採捕海域ごとの線形回帰式

0.38~0.63mm/日であり、2006年及び2007年の小名浜は他の2海域より傾きが大きかった。そこで、各年の海域別の直線回帰式について、回帰式の平行性の検定を行ったのち、平行性が仮定できた群間で共分散分析を行い、回帰式の差を検定した。2006年については、相馬と請戸は平行性を仮定できたが、小名浜と相馬及び請戸は平行ではなかった（相馬-請戸： $F(1,223)=0.59, p>0.05$ 、小名浜-相馬： $F(1,160)=183.63, p<0.05$ 、小名浜-請戸： $F(1,169)=134.59, p<0.05$ ）。相馬と請戸の共分散分析の結果、有意差はなかった

（ $F(1,224)=2.34, p>0.05$ ）。2007年については、相馬と請戸、請戸と小名浜は平行性を仮定できたが、小名浜と相馬は平行ではなかった（相馬-請戸： $F(1,113)=0.14, p>0.05$ 、小名浜-相馬： $F(1,99)=5.60, p<0.05$ 、小名浜-請戸： $F(1,60)=2.60, p>0.05$ ）。相馬と請戸、請戸と小名浜の共分散分析の結果、相馬と請戸で有意差があったが、請戸と小名浜では有意差はなかった（相馬-請戸： $F(1,114)=0.01, p<0.05$ 、請戸-小名浜： $F(1,61)=8.93, p>0.05$ ）。2008年については、3群とも平行性を仮定できたが（ $F(2,173)=0.21, p>0.05$ ）、3群の共分散分析の結果、各群間で有意差があった（ $F(2,173)=0.85, p>0.05$ ）。

各年の海域別の回帰式を用いて、孵化日から主たる漁獲加入全長（30mm）の到達日を推定した結果、2006年は相馬が52.9日、請戸が53.6日、小名浜が47.2日、2007年は相馬が53.9日、請戸が52.5日、小名浜が42.4日、2008年は相馬が49.4日、請戸が51.3日、いわきが52.1日であった。

孵化日の推定

新地、相馬原釜、磯部各市場の属地水揚量から求めた推定孵化日の分布は図3のとおりであった。2006年は12/1から始まり、1月中旬～2月中旬にピークがみられ、2月下旬以降は減少し3/11で終了した。2007年は10/26から始まり、2月中旬にピークがみられ、2月下旬から3月にかけてゆるやかに減少し、3/4に終了した。2008年は11/23から始まり、1月下旬にピークがみられ、3/13に終了した。いずれの年も、モードは1月下旬～2月上旬の間にみられた。推定漁獲尾数の50%および75%が孵化するのは、2006年で2/4および2/16、2007年で2/1および2/11、2008年で2/13および2/23であった。なお、2007年は相馬郡新地町で発生したタンカー座礁事故による油流出に伴い、4/19に終漁したことから⁵⁾、サンプルの偏りに留意する必要がある。

平均日間成長率と水温の関係

推定孵化日は主に1月下旬～2月上旬であり、漁獲加入全長（30mm）までに約50日を要することから、孵化から漁獲加入までの期間を2/1～3/15と仮定し、この期間における定地水温平均値と平均日間成長率を比較した。その結果、産地市場サンプルのため漁場が特定できない2008年のいわき海域を外れ値として除くと、水温が上がると成長率も高まる正の相関を示した（図4）。

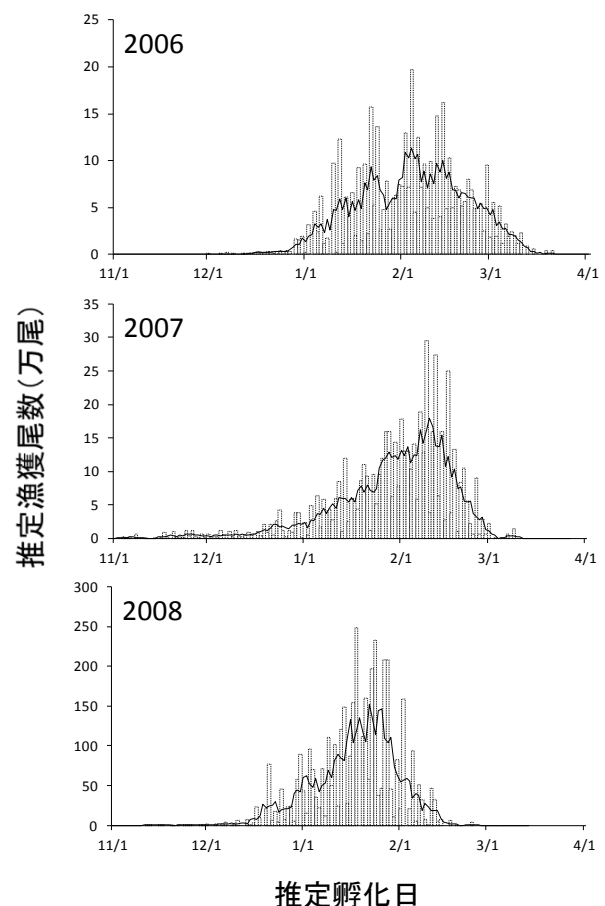


図3 相馬地区に水揚げされたイカナゴ仔稚魚の推定孵化日の分布（実線は5日間移動平均）

成長予測の検討

得られた成長式及び水温との関係を用いて、2つの成長予測を検討した。1つめは、耳石解析により得られた各年の平均日間成長率が0.47mm/日であることを勘案し、計算が容易になるよう一律0.5mm/日として推定日齢を求めた。2つめは、図4の関係から水温の関数である次式

$$D = (TL - 4) / (0.0491t + 0.0715) \quad \dots(2)$$

ただし、D: 推定日齢(日)、TL: 全長(mm)、t: 2/1~3/15の定地水温平均値(°C)

から日間成長率を年毎に推定したのち推定日齢を求めた。それぞれ、耳石解析から得られた日齢と予測日齢の残差を用いて予測精度を検証した。得られた結果は表3のとおりで、残差の母集団が正規分布していると仮定した場合、0.5mm/日予測では残差平均が0.19~2.41、残差標準偏差が5.66~7.11であったのに対し、水温補正予測では0.98~4.59、残差標準偏差が6.20~11.28であり、2006年および2008年については0.5mm/日予測のほうが高精度であった。

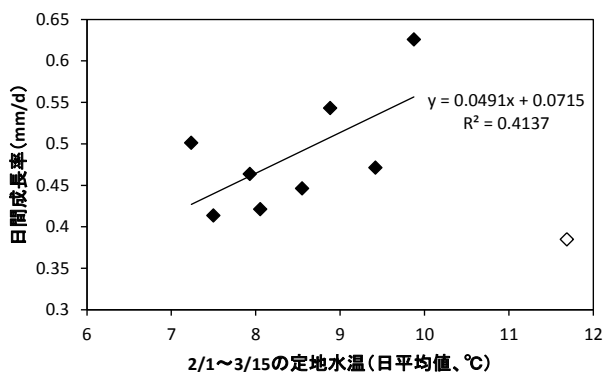


図4 2/1~3/15の定地水温平均値と平均日間成長率の関係

表3 平均日間成長率(0.5mm/日)を用いた推定日齢と定地水温平均値で補正した日間成長率で得た推定日齢の残差を用いた精度検証

年	0.5mm/日予測		水温補正予測	
	avg.	sd.	avg.	sd.
2006年	0.19	5.66	4.59	6.20
2007年	1.97	7.04	0.99	6.50
2008年	2.41	7.11	0.98	11.28

考 察

イカナゴ仔稚魚の成長

本解析におけるイカナゴ仔稚魚の成長式は、直線回帰式を採用した。今回検討した平均日間成長率を用いた全長からの成長予測は、現場で簡便に予測できる方法であること、また今回の供試魚全長(最大40.3mm)の範囲では概ね直線的な成長をしており、伊勢湾産イカナゴも体長15~35mmの間ではほぼ直線で回帰できることから¹⁰⁾、この手法でも概ね良好な結果が得られると判断した。

イカナゴ仔稚魚の成長率は、生存可能範囲では高水温のほうが大きいことが確認されており³⁾、本解析でも成長率と水温の間に正の相関が認められた。今回調査した3ヶ年のうち、2008年は他の年に比べて成長率の個体差が大きかったが、1~3月における漁場水温(新地水温)は、2006年は7°C台、2007年は8~9°C台で推移したのに対し、2008年は1,3月が7~9°C台、2月が6~7°C台と大きく変動しており、水温が成長率に影響したことが考えられる。

一方、富山・小松¹¹⁾は、伊勢湾産イカナゴについて、低水温年では仔稚魚の主餌料現存量が増加し、好適な餌料環境から高い加入資源量(生残)となるが、高水温年では初期生残が悪いものの生残個体の餌生物に対する競争が緩和され高い成長速度が得られた、密度効果の可能性を考察している。当海域は外洋に面しており、閉鎖的な湾と同様の密度効果が働くと考えるのは難しいものの、各年の漁期合計漁獲量を単純比較すると、2006年は846トン、2007年は676トンであっ

たのに対し、成長の悪かった 2008 年は 4,397 トンと豊漁であった。イカナゴの資源水準は不明だが、水温と餌料環境の関係を整理したうえで、成長率の差を検証することが必要である。

他海域産イカナゴ仔稚魚の平均日間成長率は、福島県沿岸産と同一系統群¹²⁾である仙台湾産が 0.53mm/日⁸⁾、北海道後志南部産が 0.5~0.7mm/日⁶⁾、東瀬戸内海産が 0.64~0.88mm/日³⁾、伊勢湾産が 0.68~0.85mm/日¹⁰⁾と推定されており、仙台湾・常磐海域産の成長率が小さい傾向だった。この要因についても前述のとおり、生育水温の違いのほか、密度効果や餌料環境など詳細に比較する必要がある。

孵化時期の推定

福島県沿岸産イカナゴの孵化期間は、1月上旬~3月下旬で1月下旬~2月上旬が主な孵化期間と推定された。そのうち、2006年漁期は、概ね2月中に孵化が終了した2007、2008年と異なり、3月に入っても孵化が続いた。2006年の新地水温は、前年12月から漁期中の3月にかけて低めで推移した(図5)。Yamashita and Aoyama⁹⁾は、飼育実験から、水温が高いほど受精から孵化開始までの日数は短く、水温が低いほど孵化期間のばらつきは大きくなると報告している。本解析における孵化期間は供試魚のみのデータであり、漁期全体の漁獲物の孵化日組成を反映していない可能性があるものの、2006年の孵化期間のばらつきは、低水温が一要因と考えられる。

他海域の孵化期間と比較すると、北海道後志南部産で2月下旬~4月下旬、東瀬戸内海産及び伊勢湾で1月上旬~2月上旬と推定されており⁷⁾、高緯度の産地ほど孵化期間が遅くなる傾向であった。これも、一般的には高緯度ほど冬春期に低水温であると考えられることから、水温が影響していると思われる。イカナゴの産卵期は、仙台湾で12月下旬~2月上旬⁸⁾、伊勢湾で12月下旬~1月上旬⁹⁾とほぼ一致する。しかしながら、伊勢湾産イカナゴの飼育実験では、水温低下により夏眠が終了するが、低水温ほど夏眠終了が早まるため産卵も早まることが明らかになっている¹⁰⁾。福島県沿岸におけるイカナゴの夏眠に関する知見は少なく、産卵期の検討はできなかった。今後は産卵期-孵化期の変動について、当海域の親魚調査を実施し、水温の影響を詳細に調査する必要がある。

成長予測の検討

成長予測を検討した2手法では、漁場の水温経過等を考慮した手法よりも、福島県沿岸海域における平均的な日間成長率を用いた手法のほうが高精度だった。その要因は、用いた水温値が必ずしも生育海域を代表していない定地水温であり、また各年とも一律に2/1~3/15を抽出したことによる誤差が挙げられる。可能であれば、漁場における日々水温値データセットを作成したうえで、1尾ごとに推定孵化日からの生育期間で解析すべきである。予測精度については残差の検定方法に課題が残るものの、今回検討した2手法による予測誤差の範囲はおおむね前後1週間程度であると推測され、漁獲開始の目安として運用も可能と思われる。予測運用に当たっては、調査船による曳網調査でイカナゴ仔稚魚主群を漁期前から高頻度で追跡・把握するとともに、漁場水温のモニタリングを実施し、年により変動する成長率の把握に努める必要がある。

謝 辞

本解析にあたり、新地発電所取水口水温データを快く提供していただきました相馬共同火力発電株式会社に深く感謝申し上げます。また、解析全般について貴重な助言を賜りました福島県農林水産部水産課(現:国立大学法人広島大学生物生産学部)の富山毅博士には、記して謝意を表します。

要 約

1. 2006~2008年に曳網調査及び産地市場調査によるイカナゴ仔稚魚の耳石日齢査定を行い、年

別の推定成長式を得た。

2. 成長式から得られた平均日間成長率は、0.38～0.63mm/日、3カ年平均で0.47mm/日であり、成長率と漁場水温の間に正の相関が認められた。
3. 福島県沿岸産イカナゴの孵化期間は、1月上旬～3月下旬で1月下旬～2月が主たる孵化期間と推定され、孵化期間のばらつきは低水温が一因と思われた。
4. 耳石解析で得られた成長率を用いて成長予測を試みた結果、予測誤差の範囲はおおむね前後1週間程度であった。

文 献

- 1) 福島県農林水産部水産課編：平成21年版福島県海面漁業漁獲高統計、90頁(2009)。
- 2) Tsukamoto Y., Yamada H., Zenitani H.,: Microincrements of otoliths of the Japanese sand lance *Ammodytes personatus* during early life stages, Fish. Sci., 68, 1158–1160 (2002).
- 3) 日下部敬之・大美博昭・斉藤真美：耳石日周輪解析による東部瀬戸内海産イカナゴ仔稚魚の成長、水産海洋研究、71(4)、263–269 (2009)。
- 4) 富永 裕：茨城県沿岸海域におけるイカナゴについて第1報（生物学的特性）、茨城水試研報、26, 99–110 (1988)。
- 5) 福島県水産試験場：平成19年度事業概要報告書、100–101 (2009)。
- 6) 星野 昇・三原行雄・稲村明宏：耳石日周輪解析による北海道後志南部沿岸産イカナゴ稚魚の初期成長、北水試研報、76、13–20 (2009)。
- 7) Yamashita Y. and Aoyama T.,: Hatching time, yolk absorption, onset of feeding, and early growth of the Japanese sand eel *Ammodytes personatus*., Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51, 1777–1780 (1985)。
- 8) 大関芳沖・山田秀秋・山下 洋・靄田義成：イカナゴ稚仔魚の採集調査による資源量推定に関する問題点、昭和63～平成2年度イカナゴ資源研究会議報告書、66–76 (1991)。
- 9) 山田浩且：伊勢湾産イカナゴの孵化特性と外部栄養への転換、日水誌、64、440–446 (1998)。
- 10) 山田浩且・久野正博：伊勢湾産イカナゴの成熟に及ぼす水温及び光周期の影響、水産海洋研究、63(3)、14–21 (1999)。
- 11) 富山 実・小松輝久：水温が伊勢湾産イカナゴ初期生活史の成長と加入資源量に与える影響、水産海洋研究、70(2)、114–121 (2006)。
- 12) 橋本博明：日本産イカナゴの資源生態学的研究、広島大学生物資源研報、30、135–192 (1991)。
- 13) 福島県水産試験場：平成19年度事業概要報告書、100–101 (2009)。
- 14) 山田浩且：伊勢湾におけるイカナゴの新規加入量決定機構に関する研究、三重水研報、19、77頁 (2011)。