

黒潮親潮移行域に分布するマアジ稚魚とスルメイカ幼体の 孵化時期と輸送経路の推定

今 乙香^{1*}, 谷津明彦^{2†}, 西田 宏³, 能登正幸³, 森 賢²

Estimation of hatching period and transport processes of juvenile jack mackerel (*Trachurus japonicus*) and young Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) distributing in the Kuroshio-Oyashio Transition Zone

Itsuka KON^{1*}, Akihiko YATSU^{2†}, Hiroshi NISHIDA³, Masayuki NOTO³ and Ken MORI²

We described spatial distribution, length frequency compositions and hatching date distributions of juvenile jack mackerel and young Japanese common squid collected from the Kuroshio-Oyashio Transition Zone (KOTZ) in May 2003. Numerical model experiments incorporating geostrophic and wind-driven currents confirmed transport routes of larvae and juveniles of jack mackerel and common squid from their reported major spawning grounds in the East China Sea (and from southern Japan for jack mackerel) to KOTZ. Spatial distribution and length frequency data and numerical transport model results of common squid suggested their northward migration during spring. Jack mackerel distributed in the KOTZ may not recruit to fishing grounds in the central and northern Japan, since their northward migration was not evident and jack mackerel catch in the northern Japan was much smaller than that of common squid.

Key words: Japanese common squid, jack mackerel, Kuroshio-Oyashio Transition Zone, recruitment, transport

はじめに

マアジ (*Trachurus japonicus*) とスルメイカ (*Todarodes pacificus*) は我が国や周辺国において重要な水産資源であり、太平洋においてマアジは主に九州南部沿岸から関東近海、スルメイカは高知から北海道（特に三陸以北）で漁獲される（石田ほか, 2005; 森・永澤, 2005）。両種とも主産卵場は東シナ海と言われ（Fig. 1）、マアジの産卵期は東シナ海で1~4月頃であるが、西日本太平洋沿岸では1~5月頃、関東近海では5~7月頃にも産卵される（落合・田中, 1998）。

一方、スルメイカの秋季発生群と冬季発生群の産卵期は

夫々10~12月と1~3月頃である（森ほか, 2002）。両種の仔稚魚や幼生・幼体は黒潮によって太平洋側へ、また対馬暖流によって日本海側へ移送されるという共通点を持っている（落合・田中, 1998; 中村・森, 1998; 上原・三谷, 2002）。

スルメイカのリンコトウチオン幼生と幼体やマアジ、マイワシ (*Sardinops melanostictus*) などの幼稚魚は太平洋側では西日本~関東沿岸に到着するものに加え、黒潮続流域や黒潮親潮移行域（これ以降、移行域と略記する）にも多く見られる（森・土屋, 1999; 西田ほか, 2001; 森ほか, 2002）。この移行域は豊かな基礎生産に支えられて、マイワシやカタクチイワシ (*Engraulis japonicus*) やマサバ (*Scomber japonicus*) などの多獲性浮魚類の加入量決定の場と言われている（渡邊, 1999）。そのため、1995年以来毎年5~6月に水産総合研究センター中央水産研究所は、表層トロールにより移行域とその周辺における浮魚類の加入量調査を行っている（西田ほか, 2001）。移行域のスルメイカの分布については中村・森(1998)、森・土屋(1999)、森・中村(2003)などの研究がある。しかし、移行域に分布するマアジとスルメイカの発生時期と起源に関する研究はほとんど行われてこなかった。

2005年10月20日受付, 2006年8月15日受理

¹ 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科

Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo, 108-8477, Japan

² 独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所

Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 116 Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido, 085-0802, Japan

³ 独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所

National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan

*: 現在, 田辺製菓株式会社 † yatsua@fra.affrc.go.jp

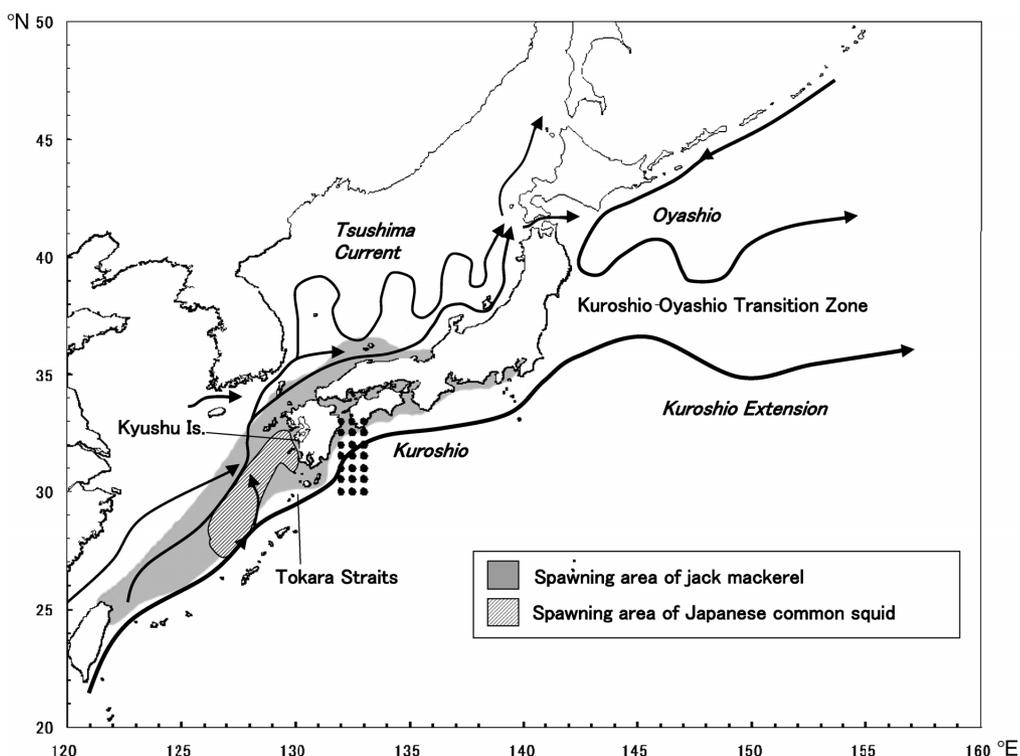


Figure 1. Schematic illustration indicating major oceanographic features around Japan, locations of spawning grounds of Japanese common squid (winter spawning stock) and jack mackerel, and 21 points from where particles were released in numerical models (solid dots). Locations of spawning grounds of jack mackerel and common squid were adopted from Ishida *et al.* (2005) and Mori and Nagasawa (2005), respectively.

これらを明らかにするため、著者らは2003年に移行域とその周辺で同時に漁獲されたマアジとスルメイカの分布様式を検討し、耳石および平衡石の日齢査定による孵化時期と既存の産卵期情報から、産卵場が東シナ海と特定されているスルメイカ冬季発生群（森ほか，2002）と比較することにより、移行域で漁獲されたマアジの産卵海域の推定を行った。また、粒子追跡モデルを用いて輸送経路も検討した。

材料と方法

分布と体長組成

マアジ稚魚とスルメイカ幼体は、中央水産研究所が北海道区水産研究所および東北区水産研究所と共同で2003年5月に2隻の調査船で実施した表層トロール調査によって採集された個体を用いた (Fig. 2)。北鳳丸（北海道教育庁，664総トン）は2003年5月9日～30日の夜間に35°N～41°N，143°E～170°Eで表層トロール曳網（網口径約27m，コードエンド目合10mm）を行った。開洋丸（水産庁，2630総トン）は2003年5月13日～31日の夜間に35°N～40°N，140°E～148°Eで表層トロール曳網（網口径約40m，コードエンド目合17mm）を行った。両調査とも1回の曳網時間は30分間で、網口の上端はほぼ水面にあった。漁獲物は

船上で選別し、冷凍並びにスルメイカの一部については10%ホルマリン固定により持ち帰った。各曳網において漁獲されたマアジの尾叉長を5mm単位、スルメイカの外套長を1cm単位で記録し、体長組成データとした。これを、海上保安庁の海流推測図による親潮前線と黒潮続流の流軸位置および採集地点の東西方向の位置を考慮し、Fig. 2の5海区（North, TZ-West, TZ-East, KE-West, KE-East）に分けて、各海区に含まれる採集点のデータを合算した。なお、NorthとTZ-westについては北鳳丸と開洋丸、それら以外では北鳳丸による採集標本が得られ、前者については2隻を区別したので、体長組成データとしては7群に分けられた。マアジでは、カイ2乗適合度検定により体長組成に正規分布からの偏りが無いことを確かめたうえで、*t*検定（平均値に差が無いとの仮説を帰無仮説とする，5%有意水準）により、網羅的に2群ごとの平均値の差を検定した。スルメイカは小型個体が多く組成に偏りが見られたことから、網羅的に2群ごとに、体長階級当り尾数の累積頻度分布を比較した（Kolmogorov-Smirnov検定，5%有意水準）のち、体長組成の違いを検討した。

日齢査定標本

日齢査定用の標本は、マアジは尾叉長を0.01mm単位、スルメイカは外套長50mm以下は0.1mm，50mmより大型は

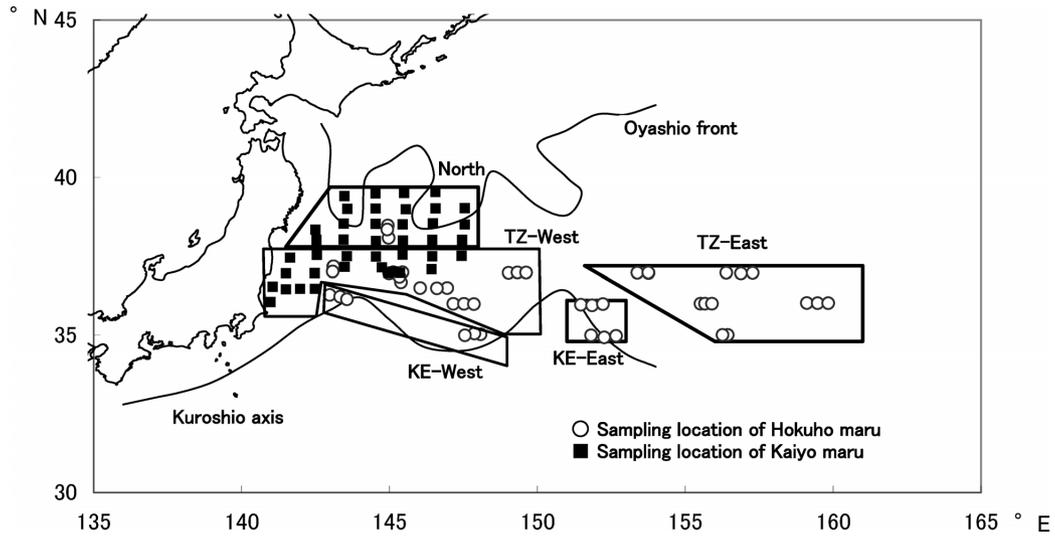


Figure 2. Sampling locations and areas of Hokuho maru and Kaiyo maru. TZ: Kuroshio-Oyashio Transition Zone, KE: Kuroshio Extension.

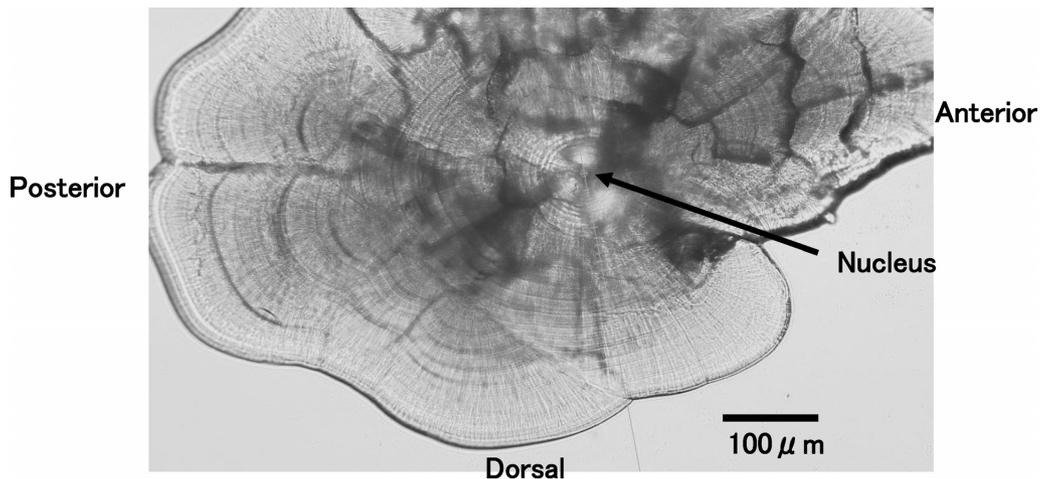


Figure 3. Ground and polished sagittal otolith of jack mackerel (40 mm FL) under transmitted light.

1 mm 単位で外套長を測定し、体重はマアジ、スルメイカとも 0.1 g 単位で測定した。日齢査定には、北鳳丸で採集されたマアジ 104 個体（尾叉長 20.71~65.17 mm）、スルメイカは開洋丸で採集された 55 個体（外套長 34.5~198 mm）を用いた。

耳石・平衡石の処理と日齢査定

マアジは尾叉長と体重、スルメイカは外套長と体重を測定後、耳石あるいは平衡石を摘出した。マアジ耳石はスライドガラス上に 2 液混合型の常温硬化樹脂（BUEHLER 製）で固定し、核および輪紋が明瞭に観察できるまで、耐水性サンドペーパー（#1200, #1500, #2000）とラッピングフィルム（#6000, #15000）を用いて扁平（sagittal）面を研磨した（Fig. 3）。マアジ耳石による日齢査定と計測について Xie

et al. (2005) は 2 段階で研磨した標本について行っているが、本研究で用いたマアジは小型であったため、一方向の研磨で十分に輪紋が計数できた。

スルメイカ平衡石は 2 液混合型の常温硬化樹脂にて包埋した。硬化後にメスで平衡石を含む一辺が 5 mm ほどの立方体に切断し、翼（wing）側が上になるように熱可塑性樹脂でスライドガラスに固定した。固定後、耐水性サンドペーパー（#800, #1200, #2000）を用いて、核付近まで研磨し、光学顕微鏡下で核が確認できるまでラッピングフィルムにて表面を研磨した。その後、熱可塑性樹脂を溶かし、スライドガラスから平衡石を剥し反転させ、再びスライドガラスに固定した。そして、側丘（lateral dome）側から核が確認できるまで研磨した（Fig. 4A）。外套長 50 mm 以下の

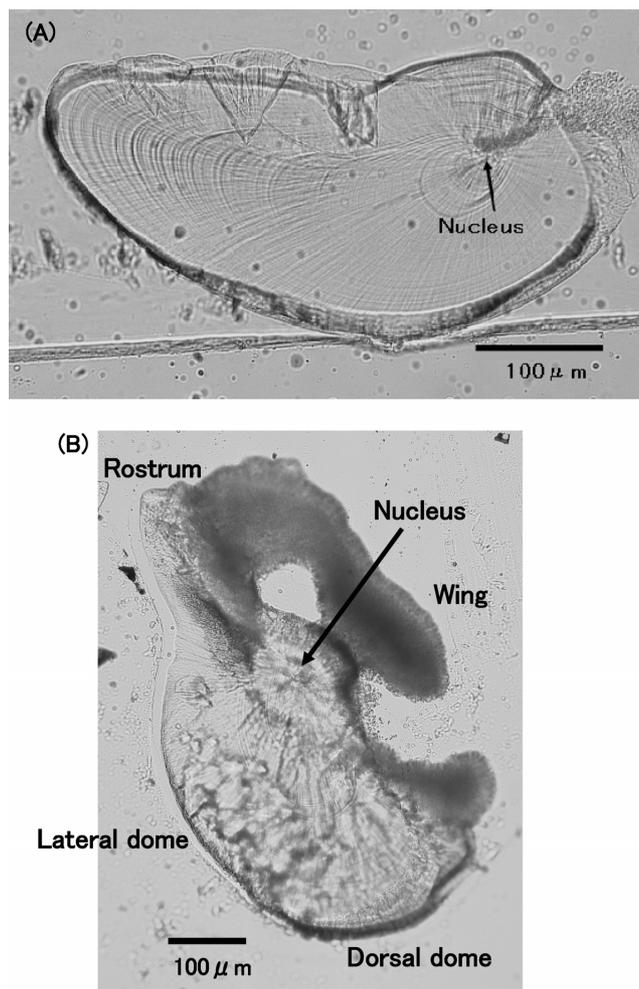


Figure 4. Statolith of Japanese common squid under transmitted light. (A) Longitudinal section (95 mm ML). (B) Posterior view (64 mm ML).

スルメイカ平衡石については薄片研磨が困難であったため、一部の個体についてはスライドガラスにマニキュアで平衡石を固定し、後部面を研磨する方法とした (Fig. 4B)。なお、後部面研磨の方法はスルメイカ平衡石の採取および輪紋計数マニュアル (北海道立釧路水産試験場, 2005) によった。

耳石および平衡石の輪紋計数には、光学顕微鏡 (OLYMPUS 製, BX51) に接続した耳石輪紋計測システム (RATOC システムエンジニアリング製) を用いて両種とも 200 倍で行った。マアジ耳石では、輪紋のコントラストが強い核から dorsal 方向の最大径に設定した直線において計数し (Fig. 3)、必要に応じて副軸も設定した。スルメイカ平衡石では、核から背丘 (dorsal dome) 側の最大径上において、平衡石の成長軸に沿って計数した。

マアジ耳石とスルメイカ平衡石の輪紋の日周性は飼育実験により検証されているため (Nakamura and Sakurai, 1991;

Xie *et al.*, 2005), 輪紋数を日輪とした。但し、マアジの第 1 輪は孵化後 3 日目に形成される (Xie *et al.*, 2005) ので、これを考慮して孵化日を推定した。スルメイカでは平衡石形成時の外套長 0.6 mm (Shigeno, 2001)~1.02 mm (函館市職員古川紘子, 私信 2005 年 11 月) が孵化時の外套長 (0.74~1.02 mm; 濱部, 1961) とほぼ等しいことから、第 1 輪を孵化日と見なした。

東シナ海から移行域への輸送モデル

孵化直後のマアジ仔魚とスルメイカのリンコトウチオン幼生の分布域と採集時期についての既往の知見 (金ほか, 2002; 小松, 2004; 上原・三谷, 2004; 依田・佐々, 2004) を参考として、トカラ海峡東側から移行域に達するまでの輸送日数と輸送経路を Noto (2000) に準じて粒子追跡モデルにより検討した。粒子の初期位置は 30°N~33°N, 132°E~133°E の範囲に緯度経度 0.5° の間隔でグリッド状に配置した 21 箇所である (Fig. 1)。輸送モデルの地衡流推定には、2003 年 1 月~12 月の 5 日間ごと、28°S~56°N, 120°E~80°W の領域で 0.25° ずつ格子化された海面高度データを用いた (NEAR-GOOS, <http://near-goos.gods.go.jp/>; Kuragano and Shibata, 1997; Kuragano and Kamachi, 2000, 2003)。5 日ごとの元データをガウシアンフィルターで 1 日ごとに変換し海表面の地衡流速を算出した。さらに、NCEP/NCAR Reanalysis 1 (<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>) の日平均海上風データからバルク法を用いて海面風応力を計算し吹送流を推算した。算出された地衡流と吹送流の日々変化する速度を各成分 (東西方向, 南北方向) についてそれぞれ足し合わせて表層流速場とした。

マアジの産卵場について、佐々・小西 (2002) は東シナ海における卵稚仔調査で得た体長 3 mm 未満の仔魚の高密度分布から 2~3 月の東シナ海南部 (28°N 以南) が特に重要としている。金ほか (2002) の粒子モデル実験によると、マアジ仔稚魚が東シナ海の主産卵場から太平洋に達するには最小で 11 日間を要した。また、小松 (2004) による同様の実験では 7 日間を要した。これらを考慮して、本研究のモデルではトカラ海峡東側海域から粒子を流す日を 3 月と 4 月に設定した。スルメイカを想定したモデルでは、森・中村 (2000) による推定孵化時期を参考として 1 月と 2 月に設定した。粒子追跡は表層トロール調査が行われた 5 月に対応するように、放流実験期間を 1 月は 1 月 1 日から 120 日間、2 月は 2 月 1 日から 90 日間、3 月は 3 月 1 日から 60 日間、4 月は 4 月 1 日から 30 日間とした。粒子の分布水深は 30 m に設定し、比較のため 0 m も検討した。これらの水深を選定した理由は、体長 1.7~7.5 mm のマアジの分布水深が主に 0~50 m、中心は 10~30 m にあり (Sassa and Konishi, 2006)、稚魚期になるとクラゲや流れ藻へ付随し (庄島, 1962; 三谷ほか, 2001)、海表面での枠網採集でも稚魚がかなり漁獲される (上原・三谷, 2004) など表在性も示すこと、スルメイカでは孵化後外套長 15 mm 前後まで

20~50m層付近を浮游し（日本海区水産研究所，1989），孵化直後の外套長1mm未満の幼生は0~25m層に最も多く，次いで表面（0m）と25~50m層に分布し，成長とともに分布中心の水深は50m前後になる（Yamamoto *et al.*, 2002）ことによる．マアジ稚魚とスルメイカの幼体の分布水深に関する上記の知見から，30m層が輸送実態を代表できると考えられる．地衡流は表面での速度しか算出できないが海面下13m深付近を流れるドリフターブイの流速と良く一致すること（Ichikawa *et al.*, 1995）などから，表面から表層数十m程度の流れを代表していると考えられる．一方，吹送流はエクマン層を50mと仮定して計算した

（Michida *et al.*, 2002）.

結果

分布と体長組成

Fig. 5, 6にマアジとスルメイカのCPUE（曳網30分当たりの漁獲量）ならびに海上保安庁の海流推測図（平成15年第18号）より読み取った親潮前線と黒潮および黒潮続流の流軸位置を示す．マアジとスルメイカに共通して，144°Eと151°E付近に見られた黒潮続流の流軸の峰よりやや東側で分布密度が高い傾向が見られた．また，143°E以西の移行域から親潮域にかけてはマアジは出現せず，ス

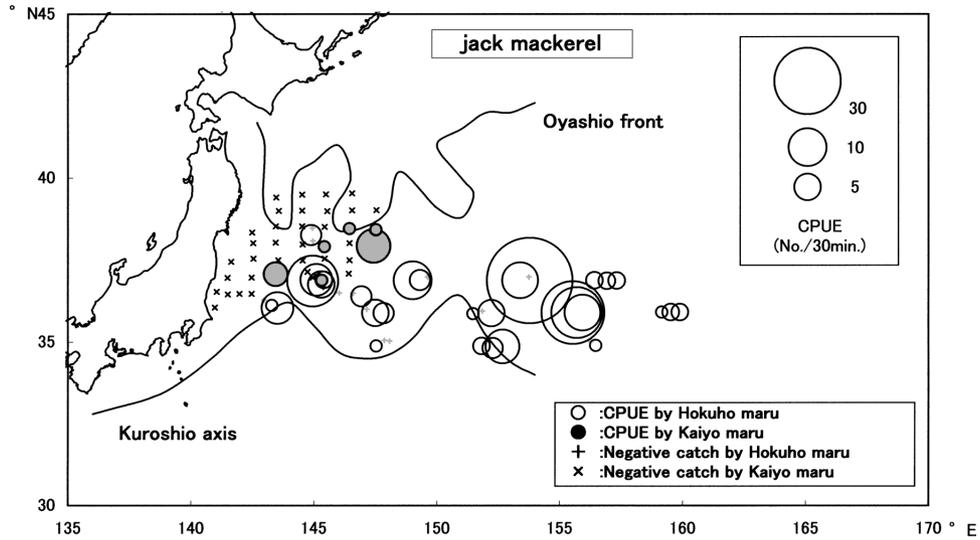


Figure 5. Distribution of catch-per-unit-effort (CPUE, number per 30min trawling) of jack mackerel with locations of the Oyashio front and Kuroshio axis (adopted from the Quick Bulletin of Ocean Conditions (Current Estimation Figure) No. 18, Japan Coast Guard).

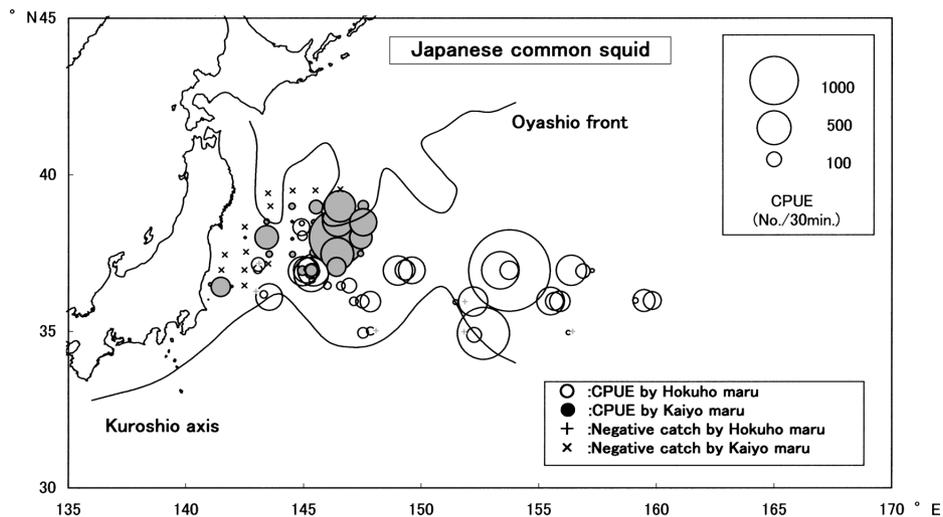


Figure 6. Distribution of catch-per-unit-effort (CPUE, number per 30min trawling) of Japanese common squid with locations of Oyashio front and Kuroshio axis (adopted from the Quick Bulletin of Ocean Conditions (Current Estimation Figure) No. 18, Japan Coast Guard).

ルメイカも少なかった。なお、スルメイカの分布密度は145~147°Eの移行域から親潮域でも高く、黒潮続流の流軸側に偏っていたマアジとは異なっていた。

調査海域の海面水温は北鳳丸で12.2~21.5°C、開洋丸で8.9~19.2°Cの範囲にあった。マアジが採集された海面水温範囲は12.2~20.4°Cであり、12°C未満での採集は無かった。なお、最も多く採集されたのは36°58'N, 153°46'E, 海面水温15.8°Cの1曳網当り30個体(尾叉長(FL)モード44mm, これ以降は階級の下限值で示す)であった。本研究で設定した5海区7群については、体長組成の正規分布からの偏りは認められなかった。そこで、網羅的に2群間での平均値の差を検定(平均値に差が無いことを帰無仮説とする、5%有意水準でt検定)した結果、KEの東西間(P=0.15)、TZの東西間(P=0.12)、北鳳丸と開洋丸の間(TZ-westでP=0.16、NorthでP=0.32)での差は見られなかったことから、KEとTZについて2隻並びに東西のデータを纏め、再びKEとTZ並びにNorthの間での差を検定した。その結果KEとTZの間(P<0.01)、KEとNorthの間(P<0.01)では差が検出されたが、TZとNorthの間(P=0.10)では差は見られなかったことから、体長を増加させながら親潮域に向かって北上する顕著なパターンは認められない結果となった(Fig. 7)。

スルメイカが採集された海面水温範囲は10.0~21.5°Cであり、マアジよりも低水温域にも分布していた。北鳳丸で最も多く採集されたのは36°58'N, 153°46'E, 海面水温15.8°Cの1曳網当り2840個体(外套長(ML)モードは2cmと6cm)であった。開洋丸で最も多くスルメイカが採集されたのは38°00'N, 146°27'E, 海面水温14.4°Cの1曳網当り1361個体(モードは9cm ML)であった。北鳳丸による外套長組成は、調査海域全体では5cm以下の個体が多かったものの、Northでは10cm MLを超える個体もまともに出現した(Fig. 8)。開洋丸では、北鳳丸の網よりもコッドエンドの目合が大きいことにより、外套長2cm以下のスルメイカは採集されず、外套長モードはTZ-Westでは4cm、Northでは9cmに見られた(Fig. 8)。スルメイカでは、マアジと異なり小型個体に偏った体長組成が示されたため、まず体長階級当り尾数の累積頻度分布を比較した(Kolgomorov-Smirnov検定、5%有意水準)。その結果、KEの東西間での体長組成の差は見られなかった(P=0.06)が、その他の群間では、東西間および2隻間すべてにおいて差が見られた(P<0.01)。この検定で明らかにされる差は、代表値の差のみならず体長組成の分散が異なることに起因する可能性も否定できないが、小型個体に対する採集能率の異なる2隻を区別した検定であっても海区間の差が認められた。先述のように、体長組成図から大型個体がNorthに分布することが明らかであることと、図には示さないが、開洋丸で比較的採集量の多かった146°Eに沿った採集結果を南北方向で比較した結果、北側ほど大型個体が分布して

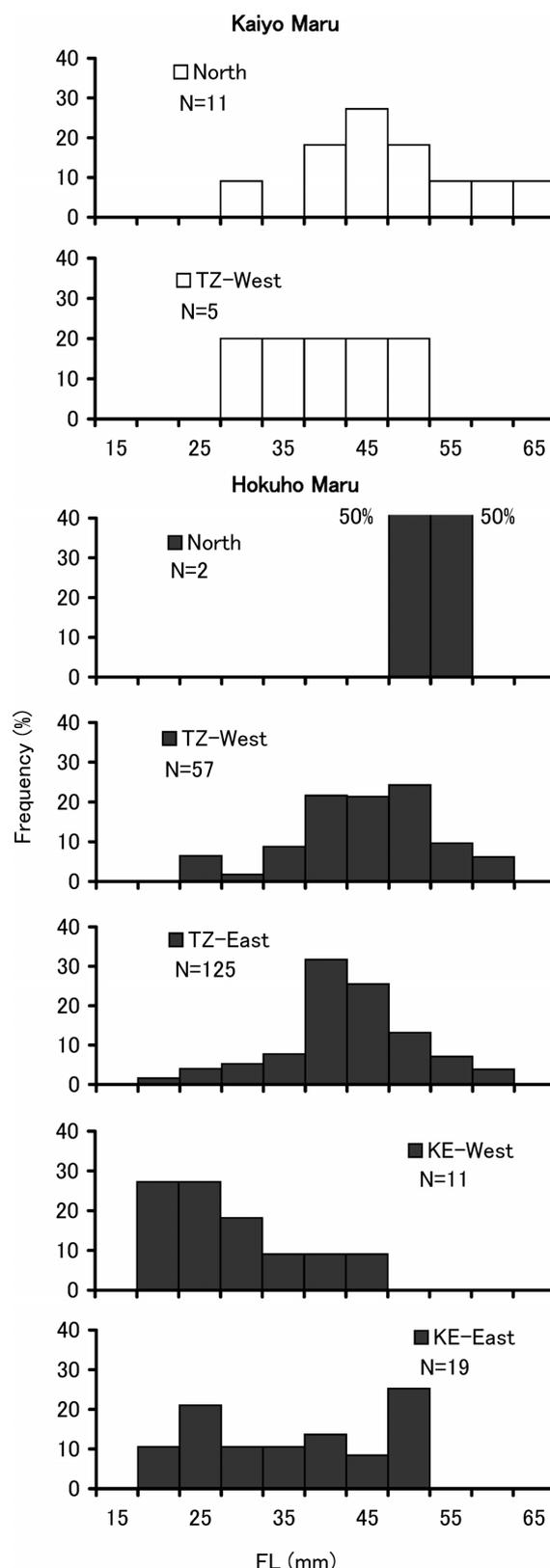


Figure 7. Length frequency distribution of jack mackerel by sampling area and research vessel.

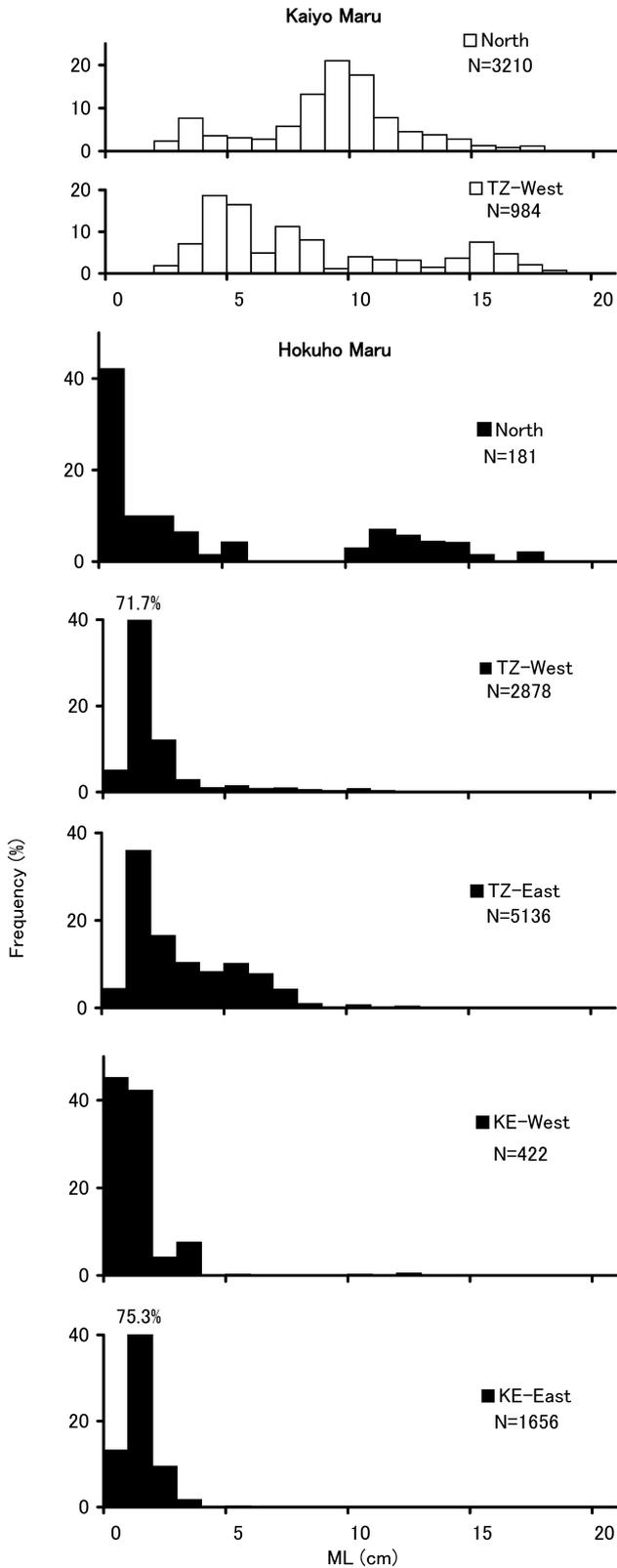


Figure 8. Length frequency distribution of Japanese common squid by sampling area and research vessel.

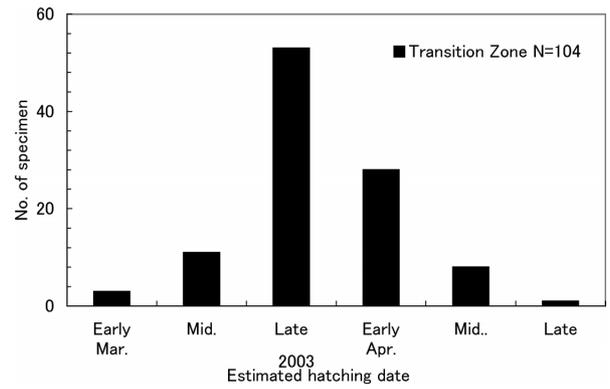


Figure 9. Hatching date distribution of jack mackerel determined from otolith microstructure.

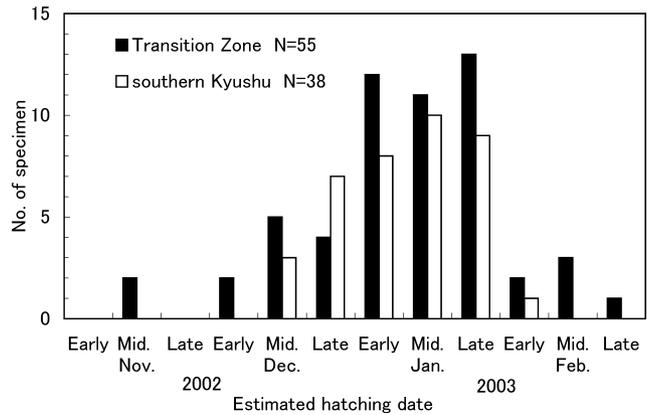


Figure 10. Hatching date distributions of Japanese common squid determined from statolith microstructure. Data of the southern Kyushu was adopted from Mori and Nakamura (1998).

いたことをあわせると、マアジとは対照的にスルメイカが成長しながら北上することが推察される。

孵化時期

マアジの採集日と日輪数から推定した孵化日は2003年3月3日～2003年4月24日の範囲でモードは3月下旬にあった (Fig. 9)。曳網別の孵化日組成を検討したところ、特定の調査点に孵化日の近い個体が集まることはなく、移行域に広く分散していた。スルメイカの採集日と日輪数から推定した孵化日は2002年12月16日～2003年3月1日で、モードは1月下旬にあった (Fig. 10)。

輸送経路と輸送日数

Fig. 11にトカラ海峡東側から流した分布水深30m層の粒子の軌跡を示す。マアジを想定して2003年3月に粒子を放流した場合を見ると (Fig. 11A)、日本列島の南岸寄りで初期位置の北側の6点に配置された粒子は黒潮には取り込まれず放流点付近にとどまった。中央付近に配置された粒子は60日後の5月には黒潮続流域の155°E付近へ到達し、南

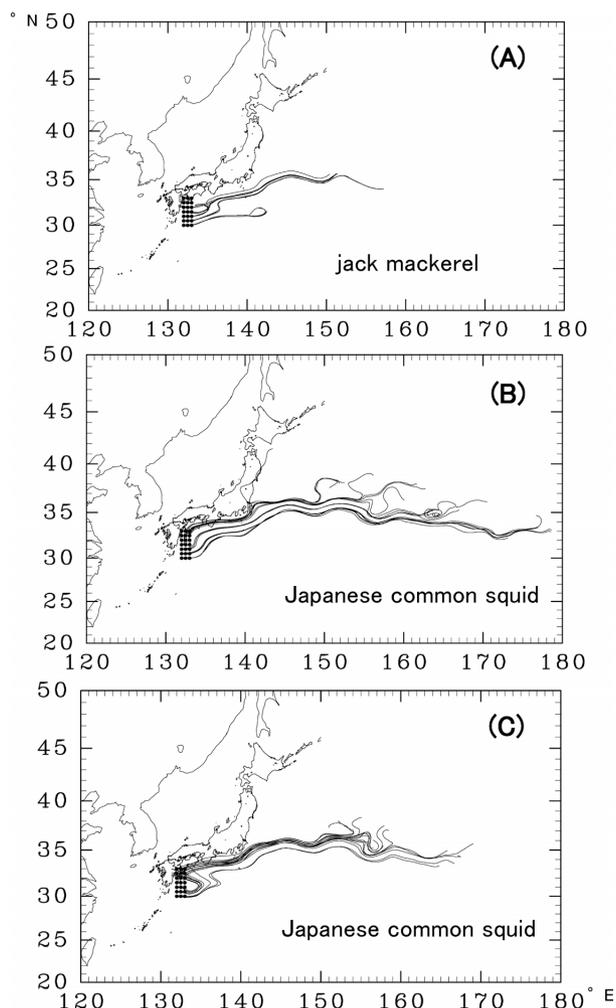


Figure 11. Particle trajectories released from the eastern area of Tokara straits in 2003. (A) Released from March 1 at 30 m depth assuming larval transport of jack mackerel for 60 days. (B) Released from January 1 at 30 m depth assuming larval transport of Japanese common squid for 120 days. (C) Released from February 1 at 30 m depth assuming larval transport of Japanese common squid for 90 days.

側の粒子は黒潮再循環域の145°E付近に停滞した。図には示さないが、3月0m層の実験および4月についても期間が短く輸送距離が短いことを除けば、3月30m層の実験とほぼ同様の輸送経路を示した。

スルメイカを想定して2003年1月 (Fig. 11B) と2月 (Fig. 11C) に粒子を放流した場合を見ると、1月と2月で大きな違いはなかった。1月の場合は初期位置が一番西側 (132°E ライン上) で北から3点 (33–32°N) を除いて、2月の場合は南側 (31°N以南) の7点を除いて、その他全ての粒子が黒潮および黒潮続流に取り込まれ日本列島東方沖に輸送された。特に150–160°Eでは移行域に北上移送されていた。この運ばれ方は暖水渦に取り込まれたものである。

最も東側へ流れた粒子は1月では179°E、2月では169°Eに達した。なお、Fig. 11において日本列島を粒子が横切っている軌跡が見られるが、それは海域と陸域との境界を含んでいる格子部分であり、その格子を海域と見なしたためである。

考 察

産卵期と産卵場

本研究によるマアジの孵化日組成は3月上旬～4月下旬と推定され (Fig. 9), この孵化日組成は東シナ海北部から九州沿岸にかけての産卵期 (1~4月; 落合・田中, 1998) に含まれる。太平洋側におけるマアジ前期仔魚の出現は、2003年の卵稚仔調査においては1~4月の土佐湾を中心に紀伊水道外域から日向灘にかけて継続して見られ、遠州灘~房総半島南端にかけても断続的に見られ、5月には遠州灘~鹿島灘のみで前期仔魚が採集された (高須賀ほか, 2005)。これら仔魚の発生海域を以下に検討してみる。

マアジ卵の孵化時間は水温20~21°Cで約40時間、孵化直後の全長 (2.3~2.5 mm) から4日目には平均で3.2 mmに達した (佐藤・森, 1980)。従って産卵から前期仔魚末期 (全長約3 mm, 内田ほか, 1958) までは平均的に約6日を要する。これらの日数と金ほか (2002) や小松 (2004) による東シナ海南部の主産卵場 (28°N以南) からの輸送速度 (6日目までにトカラ海峡に達しない) を考えると、上記のマアジ前期仔魚は東シナ海南部の主産卵場ではなく、九州西岸から太平洋南部で産卵された可能性が高い。このことは、太平洋南部沿岸でも東シナ海同様に2~4月に産卵が行われるという阪本ほか (1986) と阪地 (2001) の見解を支持している。

一方、太平洋のマアジ資源が東シナ海に由来する根拠として、古藤 (1990) および上原・三谷 (2002) は太平洋岸と東シナ海のマアジ漁獲量や資源尾数の経年推移の類似性を指摘している。また、青山ほか (1987) は1986年に太平洋側で特異的に多く漁獲されたマアジの体長組成の推移から、九州南方海域で2~4月に産卵された群が6月頃に関東近海に出現し、その後継続して漁獲されたとしている。金ほか (2002) や小松 (2004) の結果に本研究での粒子実験を加味すると、マアジ稚仔魚が東シナ海あるいは九州南方付近から太平洋沿岸や移行域に輸送され得ることを示している。

本研究における孵化日組成と粒子実験から、移行域で5月に得られたマアジ稚魚の起源は東シナ海から紀伊水道にかけてと考えられる。そのなかでも、東シナ海に由来するものと九州太平洋岸から紀伊水道に由来する個体の割合については、マアジの2000~2003年の推定資源量は対馬暖流系群が28~43万トンに対して、太平洋系群は11~14万トンと対馬暖流系群の1/3程度と少ないこと (檜山ほか, 2005; 石田ほか, 2005) から、前者の割合が高いと推察さ

れる。また、移行域内での尾叉長組成および推定孵化日組成に余り違いがみられないことから、同一海域で同時期に産まれたマアジの稚魚が移行域へ輸送され広く分散している可能性が示唆される。

移行域産スルメイカの孵化日組成は主に前年の12月~同年の2月と推定され (Fig. 10), 森ほか (2002) が東シナ海におけるスルメイカのリンコトウチオン幼生の分布調査で報告したスルメイカの産卵期 (12~2月) とよく一致した。森・中村 (1998) によると, 2月の九州南西海域で採集されたスルメイカの日齢査定による推定孵化時は12月上旬~2月上旬とされ, その孵化日組成も移行域のスルメイカのものと同様に類似していた (Fig. 10)。これらのことから, 移行域に分布するスルメイカは東シナ海に由来したとの想定に矛盾はない。

マアジ仔稚とスルメイカ幼体の移行域への輸送

2003年の薩南から常磐南部海域における卵稚仔調査 (木村ほか, 2003) によると, スルメイカのリンコトウチオン幼生が黒潮流軸上に分布したのに対し, マアジ仔魚は沿岸寄りに分布していた。この分布様式は, 2001年および2002年でも採集個体数が少ないものの, 同様の傾向が見られた (久保田ほか, 2001, 2002)。また, 2004年1~3月のマアジ前期仔魚は土佐湾とその周辺の黒潮内側域に分布していた (高須賀ほか, 2005)。本研究による粒子実験によると, マアジを想定した3月放流の場合は, 北側に位置する粒子はほぼその海域に滞留し, それ以外の粒子は黒潮流軸上に沿って続流域へ輸送された (Fig. 11A)。

マアジ仔魚の遊泳に関する知見は得られていないが, 仔魚は遊泳力に乏しいと仮定すると, 本研究による粒子モデル結果は黒潮内側域での仔魚の滞留をよく説明していると考えられる。なお, 同様の実験を無風条件下で行ったところ, 図には示さないが粒子は風あり条件下とほぼ同じ軌跡を通ったため, 沿岸への滞留は海上風とは無関係と考えられる。

金ほか (2002) はマアジ仔稚を想定した粒子モデルにより, 黒潮による東シナ海から房総半島付近までの輸送を明らかにしており, 東シナ海の産卵場と想定される海域のうち黒潮流軸に放流された場合, 最も速く流された粒子は約30日後までには房総半島に達した。本研究における粒子モデル実験および表層トロールによる採集結果は, 金ほか (2002) や小松 (2004) の実験結果を支持するとともに, 約60日後には黒潮流軸の160°E付近にまで達することを明らかにした。

スルメイカを想定した1月と2月の放流では, 初期位置付近に滞留する粒子は少なく, 多くの粒子が黒潮・黒潮流軸に沿って輸送された (Figs. 11B-C)。このことは, スルメイカのリンコトウチオン幼生が黒潮流軸上に分布していたこと (木村ほか, 2003) と, 5月の移行域に見られる冬季発生群が東シナ海に由来することと一致している。特

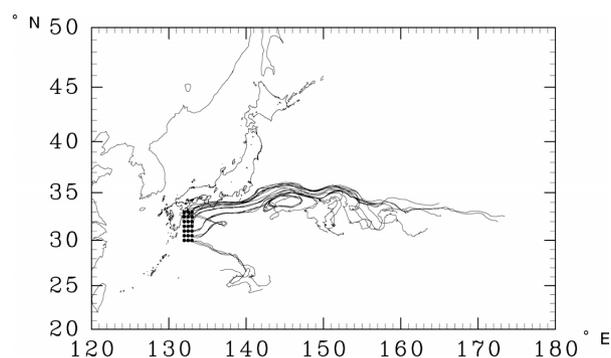


Figure 12. Particle trajectories released from the eastern area of Tokara straits on January 1, 2003 at sea surface for 120 days.

筆すべき結果として, 粒子の分布水深を30mに設定した方が0mに設定したもの (Fig. 12) より多く移行域に輸送された。スルメイカにとっては冬季季節風の影響が強い表面よりも30m層に生息している方が成育場に運ばれやすいと言える。

移行域付近での分布と回遊

スルメイカ冬季発生群が東シナ海で生まれ, 黒潮および黒潮親潮移行域を経由して北海道周辺に北上回遊することは, 中村・森 (1998) や Kawabata *et al.*, (2006) により明らかにされている。それに対し, スルメイカ同様に東シナ海を主産卵場とするマアジについては黒潮により移行域に輸送された後の分布や回遊はほとんど分かっていない。そこで, 本論文ではスルメイカについて得られた結果と既往の知見を整理し, マアジと対比することとした。

スルメイカの移行域付近での体長組成はマアジより南北差が大きかった。また, 5月の表層トロール調査ではスルメイカがマアジよりも北側で高いCPUEが見られた。本研究は2003年5月のみを対象としているが, スルメイカが成長と共に遊泳力を増し北上回遊を行うという報告 (Kawabata *et al.*, 2006) をこの結果は裏付けている。

一方, 2003年5月の移行域付近におけるマアジの尾叉長組成には顕著な海域差は見られなかったが, 東側に多く分布していた。このことは, マアジはスルメイカに比べて北上回遊が活発ではなく, 黒潮流軸により東側へ輸送されるものの割合が高いことを示唆している。また, マアジ太平洋系群漁獲量は例年その大半が千葉県以南で漁獲されている (石田ほか, 2005) のに対し, 太平洋におけるスルメイカの漁獲量 (主体は冬季発生系群と考えられる) は, 北海道あるいは三陸で最も多い (森・永澤, 2005)。さらに, 6~7月に152°Eで標識放流されたスルメイカが同年の夏季~秋季に北海道から三陸で再捕されている (中村・森, 1998)。これらのことから, 移行域に分布するマアジが常磐~三陸沿岸に加入する可能性は低く, 黒潮流軸や移行域に輸送されたマアジの多くは死滅回遊の運命にあるのかも知れない。

謝 辞

本研究に当たり, 表層トロールによる採集にあたられた開洋丸と北鳳丸の船長および乗組員各位, 未発表資料の情報を提供していただいた中央水産研究所の高須賀明典博士と川端 淳博士, 生物測定などに協力いただいた中央水産研究所資源動態研究室の各位に感謝いたします。本研究は, 資源動向要因分析調査(水産庁委託)の一部として, 水産庁の資源評価調査および国際漁業資源調査で得られた試資料を用いた。これら予算の確保と調査の推進に当たられた各位に深謝いたします。

引用文献

- 青山雅俊・前川千尋(1987)1986年相模湾におけるマアジ当才魚の大量漁獲。水産海洋研究会報, **51**, 97-100。
- 濱部基次(1961)スルメイカ *Ommastrephes sloani pacificus* Steenstrup の繁殖生態に関する研究Ⅲ。初期発生と孵化直後の幼生の形態。動物学雑誌, **12**, 6-18。
- 檜山義明・依田真里・大下誠二・山本圭介・由上龍嗣(2005)平成16年度マアジ対馬暖流系群の資源評価。我が国周辺の漁業資源評価。水産庁・水産総合研究センター, 72-97。
- 石田 実・三谷卓美・阪地英男(2005)平成16年度マアジ太平洋系群の資源評価。我が国周辺の漁業資源評価。水産庁・水産総合研究センター, 55-71。
- Ichikawa, K., S. Imawaki and H. Ishii (1995) Comparison of surface velocity determined from altimeter and drifting buoy data. *J. Oceanogr.*, **51**, 729-740。
- Kawabata, A., A. Yatsu, Y. Ueno, S. Suyama and Y. Kurita (2006) Spatial distribution of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, during northward migration in the western North Pacific Ocean. *Fish. Oceanogr.*, **15**, 113-124。
- 金 熙容・木村伸吾・杉本隆成(2002)数値実験から見たマアジ仔稚魚の輸送経路。月刊海洋号外, **31**, 119-124。
- 木村 量・久保田洋・大関芳沖(2003)2003年冬春季の薩南~常磐南部海域における主要魚種卵稚魚の出現状況。中央ブロック卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, **23**, 213-221。
- 小松幸生(2004)卵・稚仔輸送のモニタリングシステム。マアジの産卵と加入機構(原 一郎・東海 正編)。恒星社厚生閣, 92-103。
- 古藤 力(1990)太平洋岸におけるマアジ資源の動向について。水産海洋研究, **54**, 47-49。
- 久保田洋・木村 量・大関芳沖・石田 実(2001)2001年冬春季の薩南~房総半島沖海域における主要魚種卵仔稚魚の出現状況。中央ブロック卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, **21**, 183-191。
- 久保田洋・木村 量・大関芳沖・石田 実・菅原 敬・橋本高明(2002)2002年冬春季の薩南~房総半島沖海域における主要魚種卵仔稚魚の出現状況。中央ブロック卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, **22**, 192-200。
- Kuragano T. and A. Shibata (1997) Sea surface dynamic height of the Pacific Ocean derived from TOPEX/POSEIDON altimeter data: Calculation method and accuracy. *J. Oceanogr.*, **53**, 585-599。
- Kuragano T. and M. Kamachi (2000) Global statistical space-time scales of oceanic variability estimated from the TOPEX/POSEIDON altimeter data. *J. Geophys. Res.*, **105**, no.C1, 955-974。
- Kuragano T. and M. Kamachi (2003) Altimeter's capability of reconstructing realistic eddy fields using space-time optimum interpolation. *J. Oceanogr.*, **59**, 765-781。
- Michida, Y., H. Yoritaka and T. Suzuki (2002) An estimation of wind-driven component in the North Pacific subpolar gyre. *Proc. 17th International Symp. Okhotsk Sea & Sea Ice*, 38-43。
- 三谷卓美・上原伸二・石田 実・齊藤 勉(2001)マアジの資源変動と加入過程の把握。黒潮の資源海洋研究, **2**, 45-54。
- 森 賢・木下貴裕・佐々千由紀・小西芳信(2002)黒潮周辺海域におけるスルメイカ冬季発生群の産卵海域と輸送経路。月刊海洋号外, **31**, 106-110。
- 森 賢・中村好和(1998)平衡石によるスルメイカ稚仔のふ化日の推定方法及び初期成長解析技術の確立。平成9年度水産研究成果情報, **3**, 2-3。
- 森 賢・中村好和(2003)黒潮親潮移行域周辺におけるスルメイカ幼体の分布。日本誌, **69**, 23-29。
- 森 賢・永澤 亨(2005)平成16年スルメイカ冬季発生系群の資源評価。我が国周辺の漁業資源評価。水産庁・水産総合研究センター, 432-462。
- 森 賢・土屋光太郎(1999)黒潮親潮移行域におけるイカ類の分布生態。月刊海洋, **31**, 211-217。
- Nakamura Y. and Y. Sakurai (1991) Validation of daily growth increment in statoliths of Japanese common squid *Todarodes pacificus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 2007-2011。
- 中村好和・森 賢(1998)イカ類の回遊特性と環境。月刊海洋号外, **13**, 169-175。
- 日本海区水産研究所(1989)日本海区のスルメイカ。現行漁況・海況予測手法の整理と改善点。昭和63年度長期予測高度化技術開発試験報告書, 別冊(1), 社団法人漁業情報サービスセンター, 162-181。
- 西田 宏・渡邊千夏子・谷津明彦(2001)黒潮親潮移行域における稚魚採集結果に基づくマイワシ・マサバの加入量水準予測。黒潮の資源海洋研究, **2**, 77-82。
- Noto, M. (2000) Studies on the relationship between the Japanese sardine population and oceanic environments: A Kuroshio Extension hypothesis. Division of Ocean and Atmospheric Science, Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, (Doctor thesis) pp. 115。
- 落合 明・田中 克(1998)新版魚類学(下)。改訂版第1刷, 恒星社厚生閣, 東京, 790-791。
- 阪地英男(2001)高知県宿毛湾におけるマアジ(「きあじ」タイプ)の産卵期と成熟年齢。黒潮の資源海洋研究, **2**, 39-44。
- 佐藤 博・森 保樹(1980)マアジの種苗生産。栽培漁業技術開発研究, **9**, 61-68。
- 坂口健司(2005)スルメイカ平衡石の採取および輪紋計数マニュアル。北海道立釧路水産試験場。
- 阪本俊雄・武田保幸・竹内淳一(1986)沿岸重要漁業資源の管理に関する研究(概報)。昭和58年度和歌山水試事業報告, 43-52。
- 佐々千由紀・小西芳信(2002)東シナ海におけるマアジ仔稚の分布と輸送。月刊海洋号外, **31**, 92-98。
- Sassa, C. and Y. Konishi (2006) Vertical distribution of jack mackerel *Trachurus japonicus* larvae in the southern part of the East China Sea. *Fish. Sci.*, **72**, 612-619。
- Shigeno, S., H. Kidokoro, T. Goto, K. Tsuchiya and S. Segawa (2001) Early ontogeny of Japanese common squid *Todarodes pacificus* (Cephalopoda, Ommastrephidae) with special reference to its characteristic morphology and ecological significance. *Zool. Sci.*, **18**, 1011-1026。
- 庄島洋一(1962)クラゲに伴うアジ科 Calangidae の稚仔魚について。西海水研報, **27**, 47-58+1plate。
- 高須賀明典・久保田 洋・大関芳沖(2005)2004年~2005年冬季の我が国太平洋岸におけるマアジ仔魚の分布状況。中央ブロック卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, **25**, 142-156。

- 上原伸二・三谷卓美 (2002) 太平洋岸におけるマアジ仔稚魚の分布. 月刊海洋号外, **31**, 99-105.
- 上原伸二・三谷卓美 (2004) 太平洋沿岸のマアジの加入過程. マアジの産卵と加入機構—東シナ海から日本沿岸へ— (原 一郎・東海 正編). 恒星社厚生閣, 69-82.
- 内田恵太郎・今井貞彦・水戸 敏・藤田矢郎・上野雅正・庄島洋一・干田哲資・田福正治・道津喜衛 (1958) 日本産魚類の稚魚期の研究, 第1集. 九大農学部水産学第2教室, viii+89 pp., 86 pls.
- 渡邊良朗 (1999) 浮魚類新規加入量決定の場としての黒潮親潮移行域の重要性. 月刊海洋, **31**, 181-183.
- 渡部泰輔 (1965) 1965~1962年冬季本邦南西海域におけるスルメイカ稚仔の分布生態について. 東海水研報, **43**, 1-11.
- Yamamoto, J., S. Masuda, K. Miyashita, R. Uji and Y. Sakurai (2002) Investigation on the early stages of the ommastrephid squid *Todarodes pacificus* near the Oki islands (Sea of Japan). Bull. Mar. Sci., **71**, 987-992.
- 山下 洋 (1993) エネルギー収支. 魚類の初期発育 (田中 克編). 恒星社厚生閣, 71-82.
- 依田真里・佐々千由紀 (2004) マアジの産卵場の特定と海洋環境. マアジの産卵と加入機構—東シナ海から日本沿岸へ— (原 一郎・東海 正編). 恒星社厚生閣, 19-30.
- Xie, S., Y. Watanabe, T. Saruwatari, R. Masuda, Y. Yamashita, C. Sassa and Y. Konishi (2005) Growth and morphological development of sagittal otoliths of larval and early juvenile *Trachurus japonicus*. J. Fish Biol., **66**, 1704-1719.