

日本海におけるスルメイカ秋生まれ群資源の変動要因について

安 達 二 朗

1. はじめに

スルメイカの資源研究には2つの目的があると考えられる。1つは漁況予測であり、他の1つは資源の保存、管理の方策を見出すことである。日本海において、スルメイカの漁況予測は昭和46年から精度の高い予測が行われている(日水研、1971~1990)が、資源管理方策については安達(1988)の提案報告があるにすぎない。資源管理方策を見出すためには資源の変動要因をみきわめる必要がある。安達(1988)は資源変動が漁獲の影響であるとの仮定のもとで管理方策を考察しているが、実際には自然変動をも考慮した管理方策が考え出されなければならない。この意味からここではスルメイカ秋生まれ群資源の変動が漁獲の影響なのか、あるいは自然変動なのかを検討したので報告する。

報告に先だち、産卵場における水温データを処理していただいた日本海区水産研究所長沼光亮主任研究官、また資料の整理、作図にご協力いただいた笠柄昌子さん、田淵満有美さんに心から感謝します。

2. 資料と方法

解析に用いた資料は1971~1989年までの漁場一斉調査における魚群量指数、密度指数の計算結果および日本海沖合域における6月と9月における外套長組成、スルメイカ稚仔調査における稚仔分布の密度および秋季における稚仔分布域の経年変化、1973年~1989年までの山口県から青森県までのスルメイカ秋生まれ群の産卵場と推定される海域の10月の50m層水温である。これらはいずれも日本海区水産研究所資料(日水研、1971~1990)である。

漁獲の影響による変動要因の検討にはBeverton(1954)の再生産関係理論を適用した。自然変動要因の検討にあたっては、1973~1989年における産卵期の平均水温と親魚量に対する稚仔量の回帰の残差との関係を回帰分析した。

3. 資源変動要因についての考え方

現在、資源変動要因の研究には二つの流れがある。一つは環境決定論あるいは自然変動論と呼ばれているもので、この考え方は発育の初期、特に卵から稚仔の段階で大量の死亡が起こり、資源の大きさはその時に決るとするものである。すなわち、その段階での死亡量が多いか、少ないかは環境条件に依存し、親魚量と加入量とは無関係であるとする考え方である。

他の一つは、資源量は漁獲の影響によって変動するという考え方で、現在の資源力学の数理的モ

デルがこれに相当する。この数理的モデルにはいくつかの仮定、前提がある。すなわち資源量の変動が密度依存的であり、加入量は密度依存的に変化するという仮定、また、その密度の変化を起す要因は漁獲だけであるという仮定、環境は資源の大きさの枠を決めるだけで、漁業が働かなければ資源は限界値で平衡するという理論的な前提などである。

日本海のスルメイカについて自然変動論を主張したのは伊東（1972）で、伊東（1972）はスルメイカのように寿命が短く、浮魚的性格の強い種では、資源変動については水温など環境条件の影響を受けるとしている。一方、スルメイカの資源変動が漁獲の影響であると主張したのは土井・川上（1979）、安達（1988）で、土井・川上（1979）は冬生まれ群について、安達（1988）は秋生まれ群について、スルメイカ漁獲量の減少がそれぞれ乱獲のためであるとした。自然変動論と漁獲の影響による変動、すなわち人為変動論の考え方の決定的な相違は環境のとらえ方にあり、現在でもその対立は続いているものと考えられる。

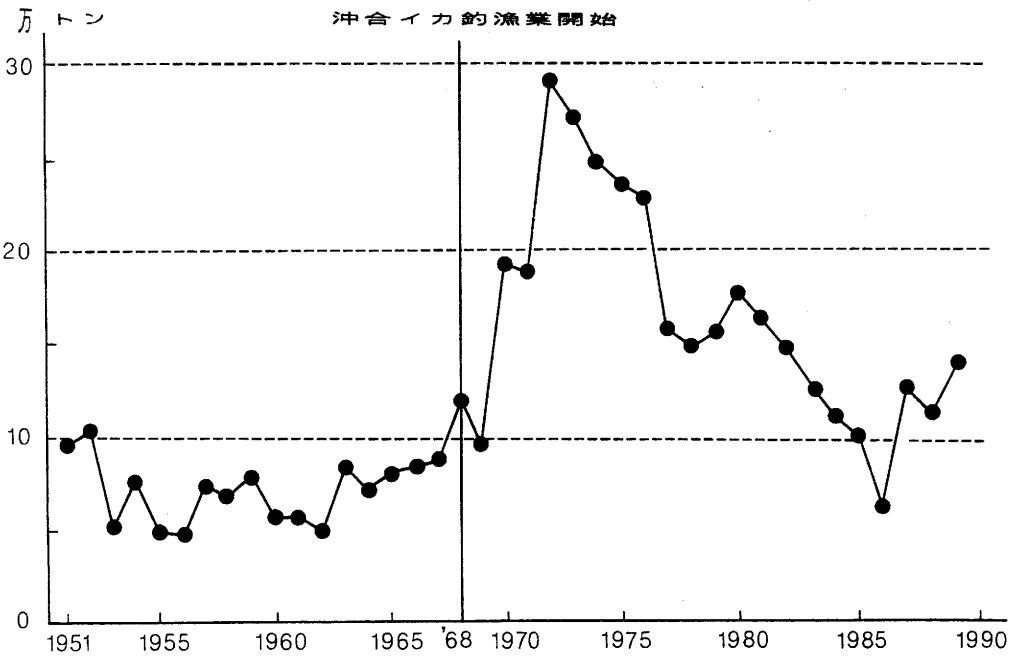


図1. 日本海におけるスルメイカ漁獲量の経年変化

4. 秋生まれ群資源の変動の検討

1951～1989年までの日本海におけるスルメイカ漁獲量の経年変化（日本海区水産研究所資料）を図1に示した。1951～1967年までは年間およそ5～10万トンの範囲で変動していたが、沖合漁場開発後の1968年以降は急激に増大し、1970年には約20万トン、1972年には約29万トンを漁獲した。し

かし、この年以降漁獲量は減少傾向をたどり、1986年には約6万5千トンにまで低下した。しかし、1987年以降は変動しながらも再び増加傾向にある。1968～1972年の漁獲量の増加は沖合イカ釣漁業が開始されたことによる漁獲努力量の増大によるものと考えられ、それ以降の漁獲量の減少は安達(1988)によると過剰漁獲努力量の影響とされている。

1) 漁獲の影響による変動の検討

表1に1971～1989年までの試験船漁場一斉調査結果を示した。魚群量指数と密度指数が示されているが、資源変動を検討する場合において、魚群量指数は調査年の調査海域が一定ではないため、調査海域の面積を考慮した密度指数を資源量の指数としてあつかうのが妥当である。

表1. 試験船漁場一斉調査結果(1971～1989)

| 年 | 6月(39° - 30' 以南) | | 9月(43° - 30' 以南) | |
|------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | 魚群量指数 (p) | 密度指数 (φ) | 魚群量指数 (p) | 密度指数 (φ) |
| 1971 | 40.5 ^{x10³} | 36.8 | 32.4 ^{x10³} | 25.2 |
| 1972 | 31.4 | 28.5 | 29.0 | 22.5 |
| 1973 | 22.9 | 20.8 | 14.7 | 11.4 |
| 1974 | 27.9 | 25.4 | 26.4 | 20.5 |
| 1975 | 25.2 | 22.9 | 15.3 | 11.9 |
| 1976 | 20.6 | 19.6 | 10.8 | 11.1 |
| 1977 | 11.4 | 12.3 | 12.9 | 10.0 |
| 1978 | 14.3 | 13.0 | 14.8 | 11.6 |
| 1979 | 18.4 | 16.7 | 10.0 | 9.4 |
| 1980 | 22.3 | 17.7 | 14.2 | 7.7 |
| 1981 | 11.0 | 9.9 | 12.1 | 5.4 |
| 1982 | 10.0 | 7.6 | 10.1 | 5.4 |
| 1983 | 8.8 | 7.0 | 10.0 | 8.0 |
| 1984 | 5.9 | 5.4 | 9.7 | 5.3 |
| 1985 | 9.2 | 7.1 | 9.9 | 6.4 |
| 1986 | 6.3 | 5.3 | 9.3 | 6.1 |
| 1987 | 7.7 | 7.1 | 10.2 | 6.6 |
| 1988 | 8.6 | 7.6 | 12.6 | 8.2 |
| 1989 | 8.4 | 7.2 | 19.9 | 12.9 |

表1をみると、6月の密度指数は1971年以降徐々に低下し、1981年以降は10.0未満の値となっている。9月の密度指数も6月の場合と同様であるが、指数値が10.0未満となるのは1979年以降である。これらの指数値を資源量指数として解析に供するのであるが、安達(1988)によると、漁場一斉調査の調査海域では秋生まれ群、冬生まれ群が時空的に重複して分布するとしているので、各密度指数の内に占める秋生まれ群と冬生まれ群の割合を定量的に分離する必要がある。安達(1988)は浜田港の漁獲物外套長組成を統計的に複数のグループに分離しているが、漁場一斉調査では試験船の釣獲試験時に外套長を測定

しているので、それらの外套長組成を統計的に検討することになる。

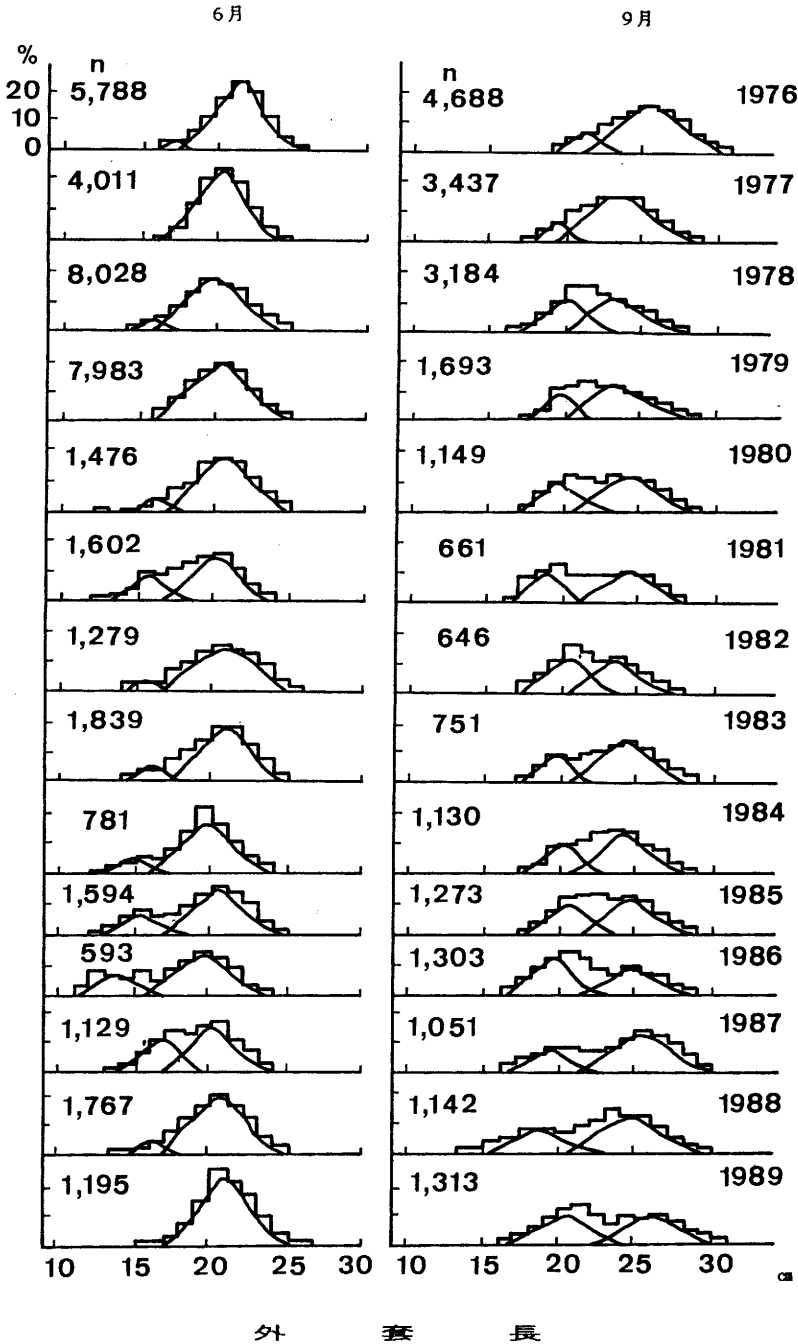


図2. 日本海沖合域における6月と9月の外套長組成

図2は上述の考え方から6月と9月の外套長組成を統計的に分離、検討したものである。6月の組成をみると1977年、1979年、1989年以外の年は二つのグループに分離されている。外套長の小さいグループのモードは13~16cmにあり、大きいグループのモードは20~22cm位にある。安達(1988)は同様の方法で浜田港の漁獲物外套長組成を二つのグループに分離し、小型のグループを冬生まれ群、大型のグループを秋生まれ群としているので、この報告においても安達(1987)と同様にあつかうと、1977年、1979年、1989年は冬生まれ群が調査海域に加入していないことを示していることになる。

9月の外套長組成はいずれの年も二つのグループに分離され、秋季においては調査海域に冬生まれ群も完全加入していることが示されている。冬生まれ群のモードは19~22cm位にあり、6月のモードより6cm位大きくなっており、成長の様子を示していると考えられる。秋生まれ群の外套長組成のモードは25~26cmにあり、6月のモードより4~5cm位大きくなっている。このことは冬生まれ群と同様に外套長の成長の様子を示しているものと考えられる。以上のような考え方に立つと、各年の6月と9月の密度指数に外套長組成における秋生まれ群の構成割合を乗ずることにより秋生まれ群の密度指数(資源量の指数)を得ることができる。

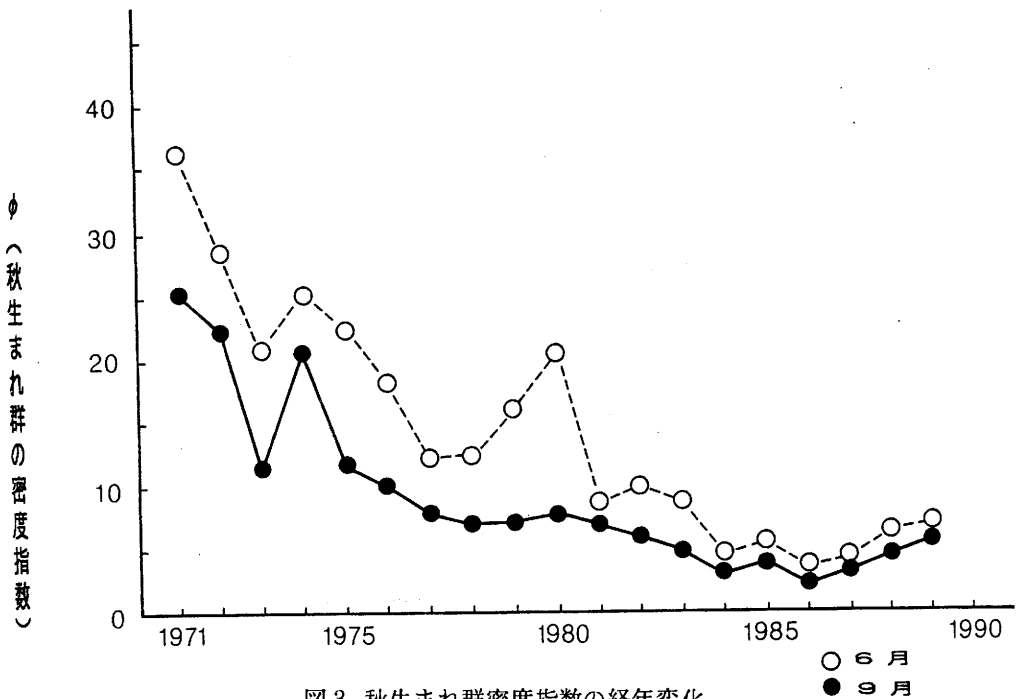


図3. 秋生まれ群密度指数の経年変化

このようにして求めた秋生まれ群の密度指数を調査年に対してプロットしたものが図3である。6月の密度指数が9月よりも大きいのが、これは6月に完全加入した秋生まれ群が9月までに減耗したことを示していると考えられ、このことから6月から9月までの生残率(S)を計算することが

可能となる。図3をみると1974年のような例外も認められるが、1971~1980年は減耗が大きく、1981~1989年では小さくなっていることがわかる。減耗の要因は自然死亡と漁獲死亡であるが、6~9月の3ヶ月間において、大きく成長した秋生まれ群では自然死亡は極めて小さく、しかも一定であると考えられ、死亡の大部分は漁獲によるものと推察される。

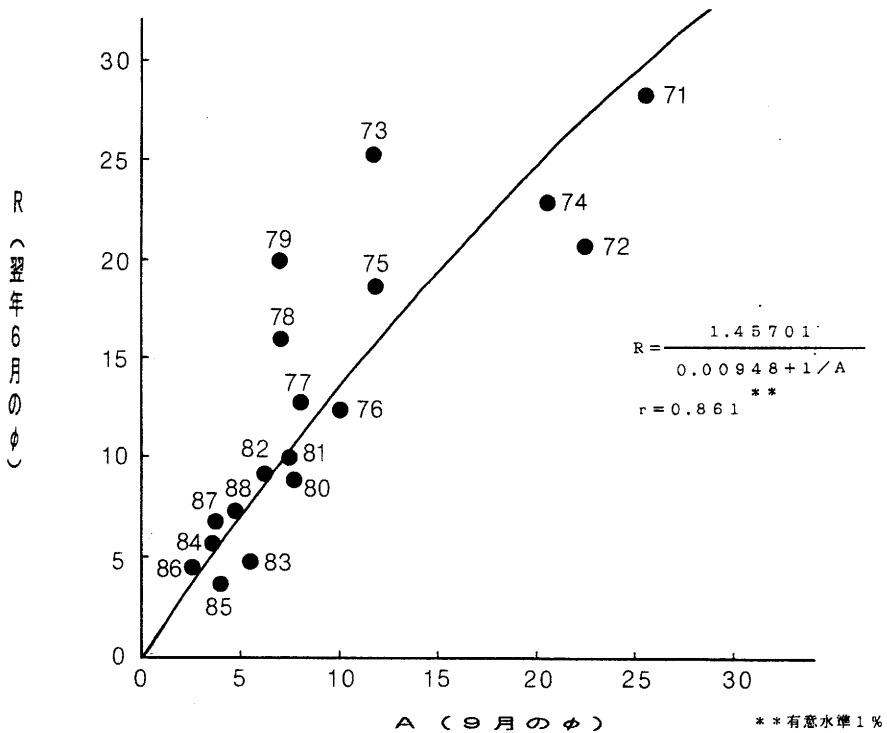


図4. 秋生まれ群の再生産曲線の推定① (AとRの関係)

次に秋生まれ群の再生産関係を検討したものが図4である。横軸に9月の密度指数、縦軸に翌年6月の密度指数をとって、Beverton (1954) の再生産式にあてはめた。これは真の意味での再生産式ではなく、親魚量と加入量の関係を示したものである。両者の関係は直線関係に近く、親が多ければ子も多いという関係にある。この関係式から9月の漁場一斉調査結果をもとに翌年の加入量の予測が可能となる。

図5は親魚量(9月の密度指数)と次世代の親魚量(翌年9月の密度指数)の関係を示したものである。横軸と縦軸の尺度を同じにして示したもので、真の意味での再生産関係となる。図4と同様にBeverton(1954)の再生産式にあてはめた ($r=0.823$)。Beverton(1954)の再生産式は自然死亡関係数Mが幼稚仔期の資源量と直線関係にあることを仮定しているが、図5をみると密度効果が働いているのは親魚量が約8.0より多い場合である。資源変動の数理的モデルの仮定の1つが密度制御の要因が漁業の力だけであるということから、上述の結果はその仮定を満たしていることになる。すなわち秋生まれ群資源の変動要因は漁業の力であると結論づけられる。

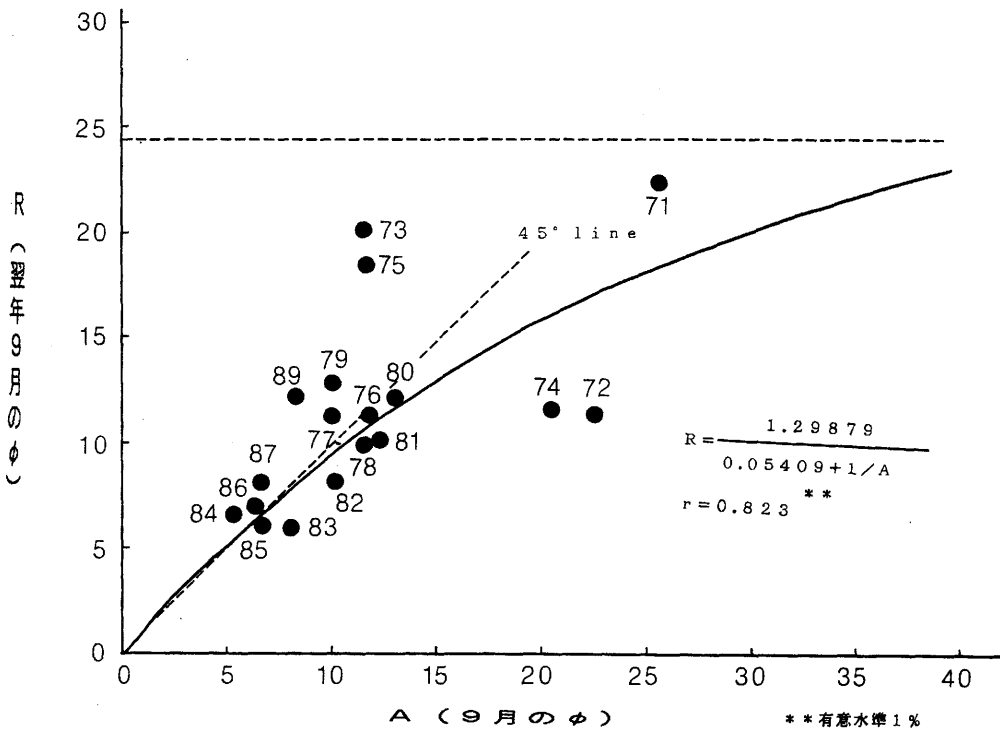


図5. 秋生まれ群の再生産曲線の推定②

また、数理的モデルにおける“環境は資源の大きさの枠を決めるにすぎない”という仮定からは、図5の再生産式において $R=24.0$ という秋生まれ群資源の限界値が計算される。図中に限界値を点線で示したが、この意味は処女資源時の親魚量が限界値にあったことで、現実には沖合イカ釣漁業が開始された1967～1968年当時の状況を示すことになる。親魚量の変動をみると1971～1980年にかけては変動しながら減少している。図中の 45° 線は親魚量と回帰量が等しいことを示す直線で、言い換えれば密度効果が働いていないことを示している。それに該当する年は、少なくとも1983～1987年であり、したがってこの年代の資源変動は漁業の力ではなく、自然変動すなわち環境の影響を受けて変動していると考えるのが妥当であろう。このことについては後述する。

また、先に秋生まれ群が漁業の力で変動していることを述べたが、そのことをさらに具体的に示してみる。図6に全死亡係数 Z と親魚量 A の関係を示した。横軸の Z は図3に示した6月と9月の密度指数の比（9月の密度指数／6月の密度指数）を生残率 S とし、その対数をとったものである（ $Z = -\ln S$ ）。6～9月では自然死亡係数 M の値は小さく、かつ各年の値をコンスタントと仮定すると、 Z の変動は漁獲係数 F の変動と考えてもさしつかえない。1971～1980年では親魚量 A は F によって変動していることがわかる。1981～1989では F の影響を受けていない。したがって1971～1980年までは漁獲の力によって秋生まれ群資源が変動し、1981～1989年までは前述したとおり環境の影響で変動していることになる。図6をみてわかるように漁獲の影響による親魚量の変動

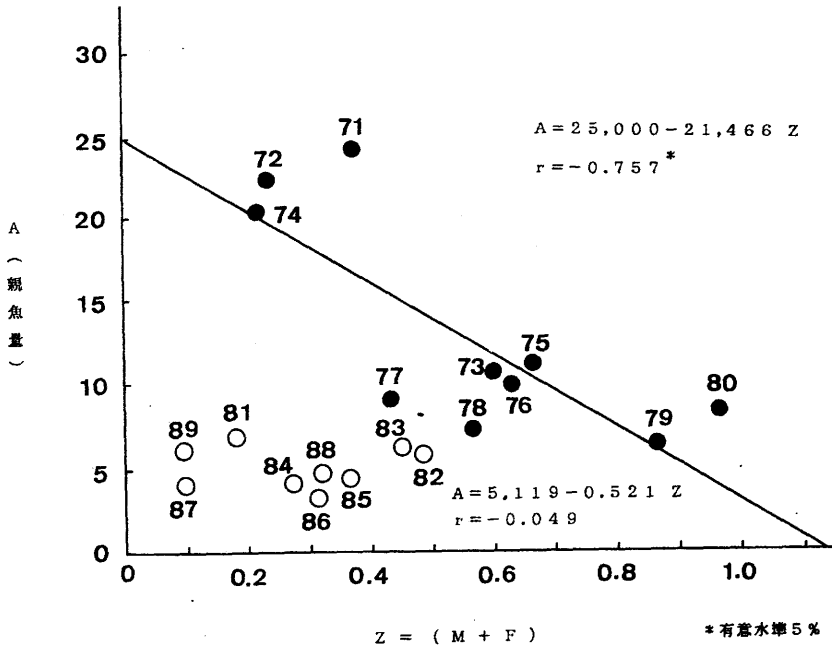


図6. 全死亡係数と親魚量の関係

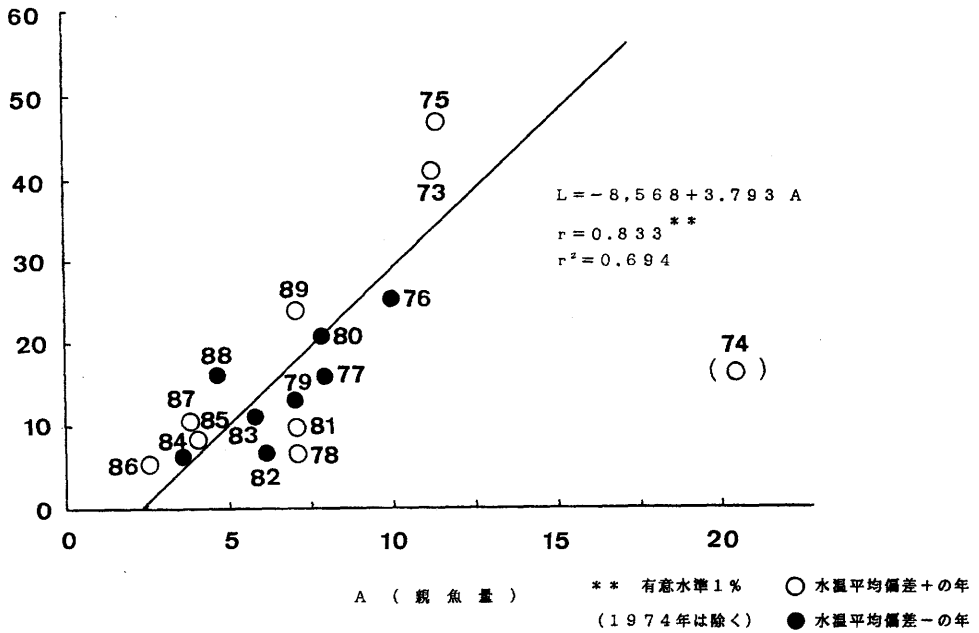


図7. 親魚量と稚仔量の関係

巾は自然変動による変動巾よりもかなり大きい。すなわちスルメイカ秋生まれ群資源の変動要因は漁獲の影響が主で環境の影響は従と考えられる。

2) 自然変動要因の検討

自然変動論は卵から稚仔の段階に大量の死亡が起り、資源の大きさはその時に決まる。また、卵から稚仔までの生残率の高底は環境条件に依存し、親と子の関係、言い換えれば世代から世代への継承性はないという考え方である。この考え方にそって検討を試みる。

スルメイカ稚仔量の資料として表2にスルメイカ稚仔調査結果を示す。表2には稚仔の分布量指数と密度指数が示してあるが、稚仔量の場合も魚群量の場合と同様に、年によって調査海域の面積が異っているため、稚仔分布の密度指数を用いて解析した(1974年のデータは除く)。

表2. 日本海南西部～九州近海におけるスルメイカ
稚仔調査結果(10～11月)

| 年 | 曳網点数 | 稚仔出現数 | 稚仔の分布量 指数(P) | 稚仔分布の密度 指数(ϕ) |
|------|------|-------|-----------------|-------------------------|
| 1973 | 58 | 435 | 8,458 | 40.9 |
| 1974 | 98 | 396 | 3,621 | 16.2 * |
| 1975 | 87 | 1,726 | 13,852 | 47.1 |
| 1976 | 106 | 235 | 7,139 | 25.5 |
| 1977 | 112 | 157 | 3,541 | 15.6 |
| 1978 | 113 | 79 | 911 | 5.8 |
| 1979 | 104 | 141 | 3,851 | 14.6 |
| 1980 | 97 | 403 | 6,345 | 21.3 |
| 1981 | 98 | 140 | 2,533 | 9.2 |
| 1982 | 101 | 100 | 1,293 | 6.2 |
| 1983 | 107 | 172 | 4,504 | 11.3 |
| 1984 | 95 | 68 | 2,314 | 8.6 |
| 1985 | 111 | 234 | 4,220 | 9.3 |
| 1986 | 111 | 166 | 2,785 | 6.6 |
| 1987 | 111 | 384 | 4,906 | 10.0 |
| 1988 | 145 | 787 | 7,405 | 15.8 |
| 1989 | 143 | 1,790 | 15,194 | 24.4 |

(日水研資料)

* 1974年の調査は荒天のため不規則であった。

図7は図3に示した9月の魚群量密度指数と稚仔分布の密度指数との関係を示したものである。親魚量が多ければそれ由来する稚仔量も多いという関係が認められる(有意水準1%)。さらに言い換えれば親魚量が多ければ総産卵量も多くなり、総産卵量が多ければ稚仔量も多くなることを示している。したがって自然変動論の親子関係がないという考え方はこの時点で否定され、しかも前項で述べたように親魚量は漁獲の力で変動するので、秋生まれ群の資源変動要因が漁獲の力であることの再確認がなされたことになる。ただし、図中の回帰関係には稚仔量のバラツキがみられ、

このバラツキが環境要因によって起っていることになる。回帰直線の上側のバラツキは卵から稚仔への生き残りが良いことを、回帰直線の下側のバラツキは生き残りが悪いことを意味している。また、図中に $\gamma^2=0.694$ (決定係数)を示したが、これは稚仔量の変動の69.4%が親魚量の回帰によって決定され、残りの30.6%が環境の影響を受けていることである。

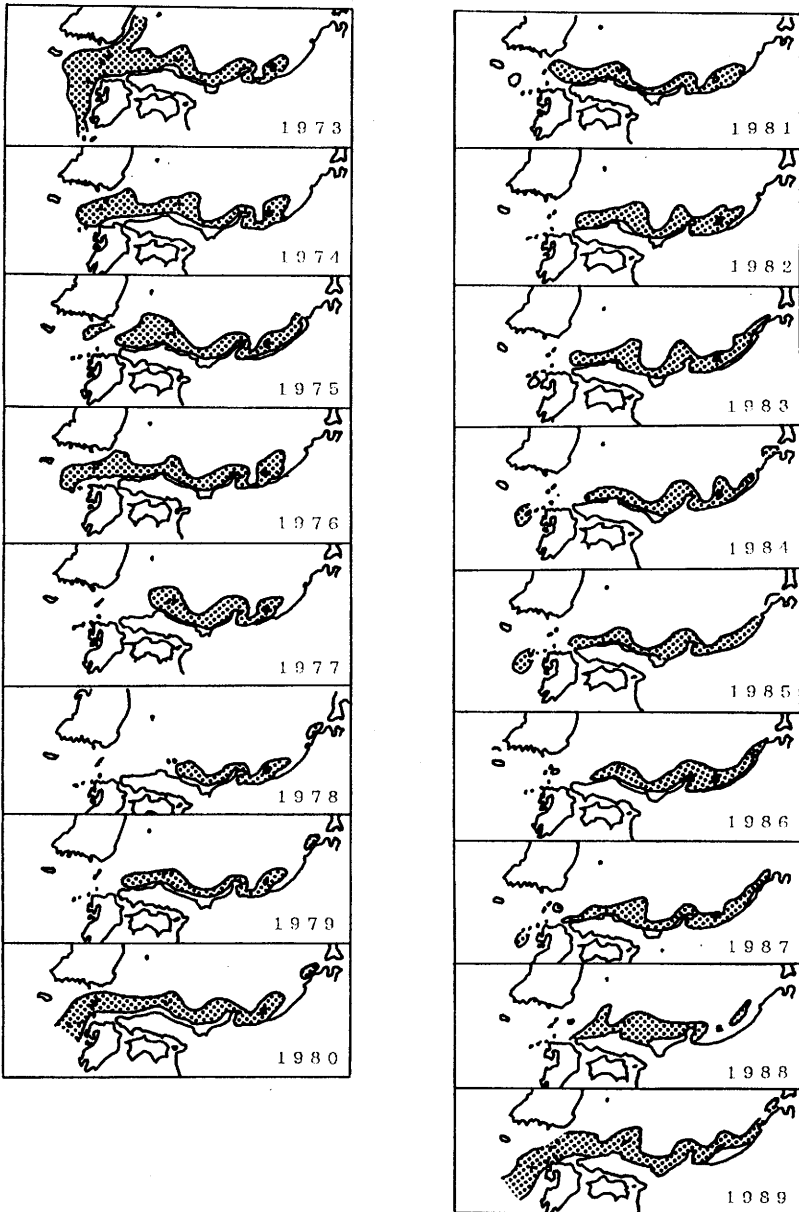


図8. 秋季におけるスルメイカ稚仔分布域の経年変化 (NORPAC ネット)

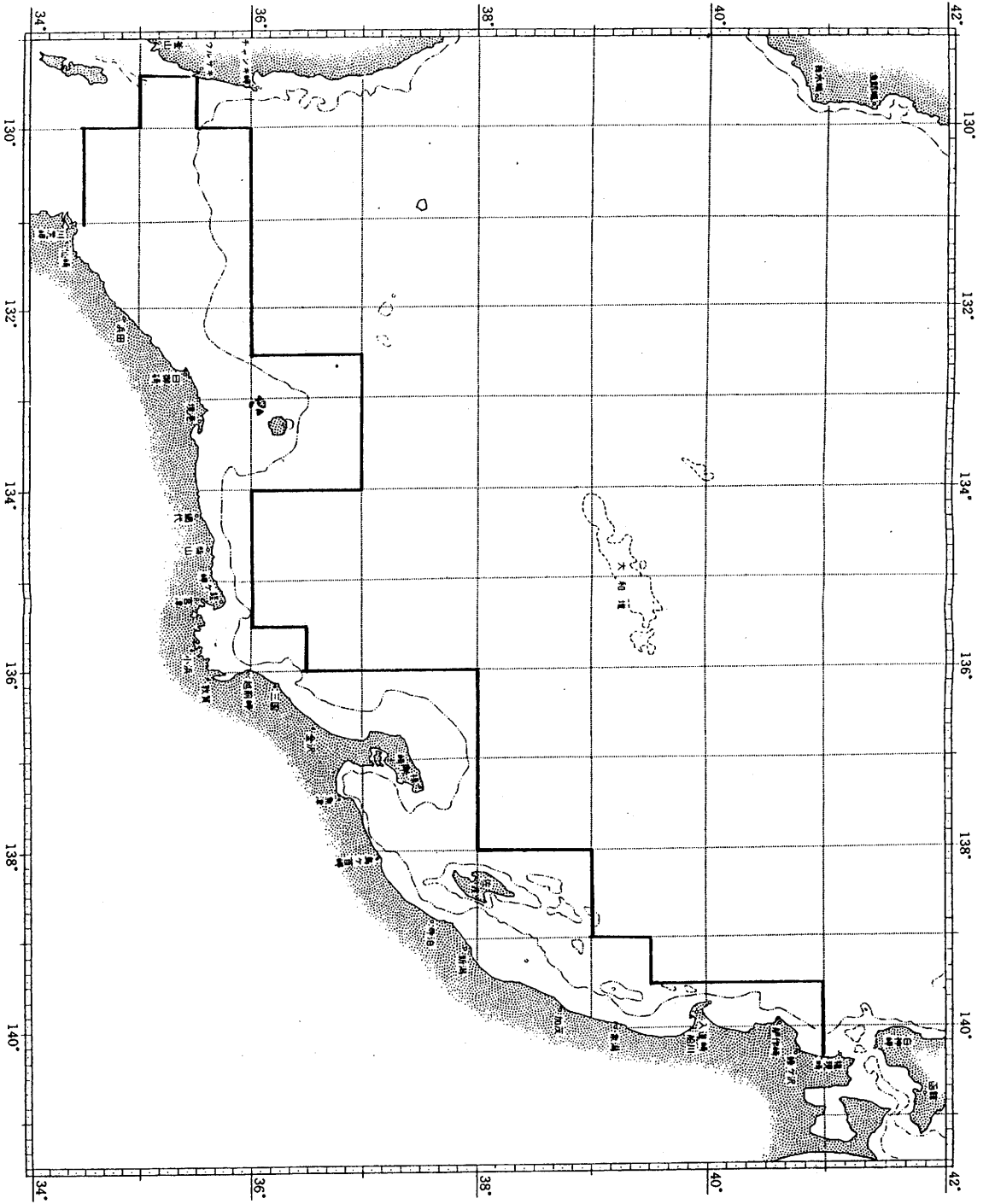


図9. 10月の50m平均水温の集計水域

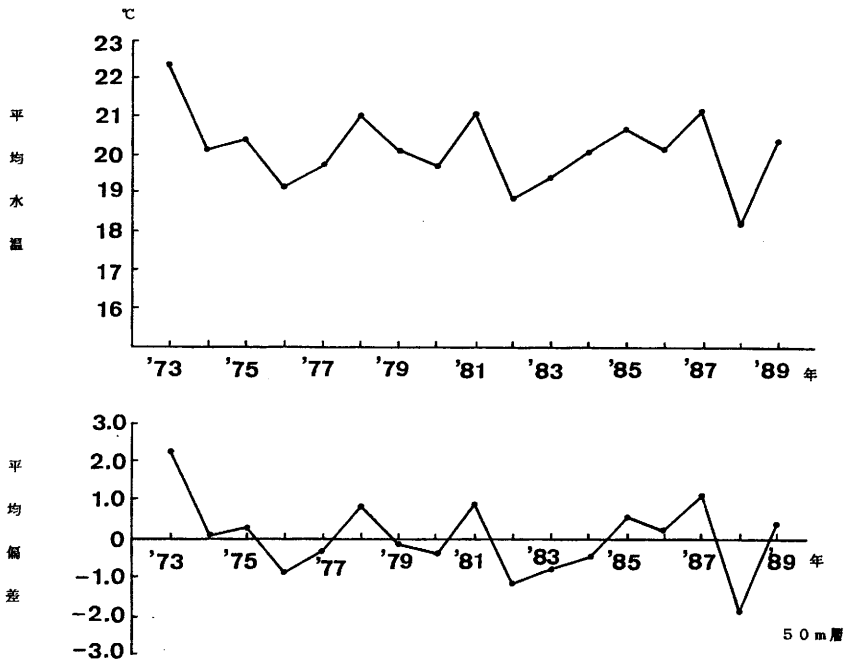


図10. スルメイカ産卵場における10月の平均水温と平均偏差の経年変化

この環境の影響を検討するため、環境要因として産卵期（10月）、産卵場（図8）の50m層の水温をとりあげた。図9には10月の50m層平均水温の集計海域を示したが、この海域での10月の平均水温と平均偏差を示したものが図10である。平均偏差のプラスの年を平年よりも高い年、マイナスの年を平年よりも低い年とすると、水温の高い年は1973年、1974年、1975年、1978年、1981年、1985年、1986年、1987年、1989年の9ヶ年、水温の低い年は1976年、1977年、1979年、1980年、1982年、1983年、1984年、1988年の8ヶ年である。

以上のように分類された各年を先の図7にプラスの年を白丸、マイナスの年を黒丸でマークすると、卵から稚仔への生残の良い年（回帰直線の上側の年）は高温年が6ヶ年に対し、低温年が2ヶ年、生残の悪い年（回帰直線の下側の年）は低温年が5ヶ年に対し、高温年が2ヶ年となっている。すなわち高温の年は卵から稚仔への生残が良く、低温の年は生残が悪いという傾向がうかがわれる。

この傾向を統計的に検定したものが表3であるが、 X^2 検定の結果、危険率1%でその傾向が認められる。さらに、このことを水温の絶対値を用いて検討したものが図11である。平均水温と稚仔量の残差の関係は直線関係が認められ（有意水準5%）、平均水温が高いほど稚仔の生残は良くなることがわかる。 r^2 （決定係数）は0.347で稚仔の生残の34.7%が産卵期、産卵場の水温によって決定されることを示している。

先述したように稚仔量の変動の約70%が親魚量によって決定され、残りの約30%の内、約35%が

表3. 水温平均偏差に関する2×2分割表

| | 平均偏差 | | 計 |
|----------------|-------------|-------------|----|
| | プラス | マイナス | |
| 回帰直線より 上側の年 | 6 (4.27) | 2 (3.73) | 8 |
| 回帰直線より 下側の年 | 2 (3.73) | 5 (3.27) | 7 |
| 計 | 8 | 7 | 15 |

() は理論値

$$\chi^2 = 3.21 < \chi^2(1, 0.05) = 3.84$$

水温という環境要因によって決定されることになるので、稚仔量の変動を全体としてみると、約10%が水温の影響となる。したがって秋生まれ群資源の変動は環境(水温)が決めるのではなく、親魚の量によって決定されることになり、また親魚量は漁獲の力によって変動するので、結論として秋生まれ群資源は漁獲の影響によって変動することになる。したがって、日本海

における近年のスルメイカ漁獲量の上昇傾向は漁獲努力量の減少によるものと推定される。このことは事実として日本海沖合で操業する大中型イカ釣漁船の大臣承認数が、近年では最盛期の1/5に減少している(笠原、未発表)ことから裏づけられる。

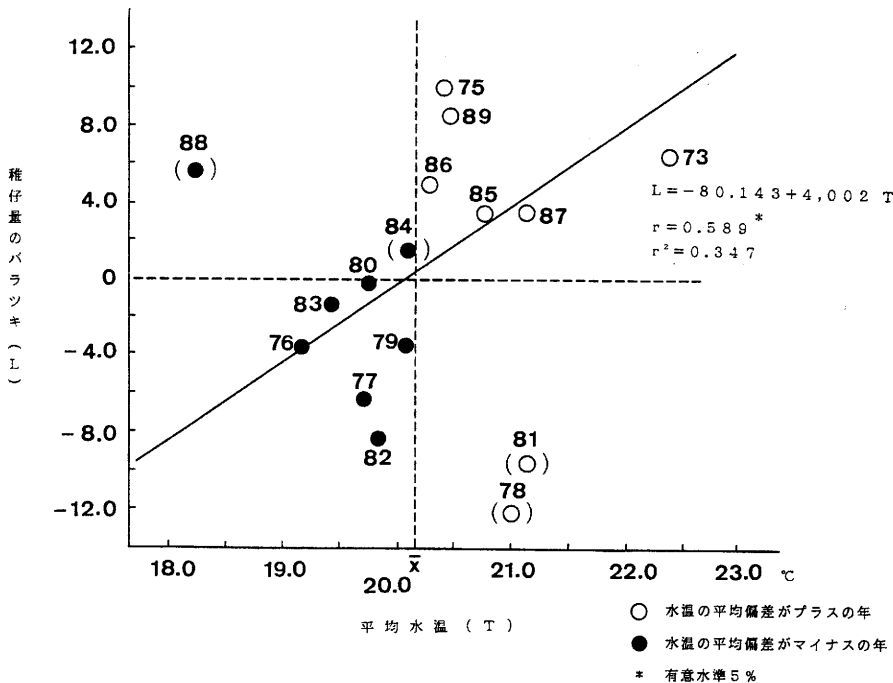


図11. 産卵期平均水温と稚仔量のバラツキの関係

5. 要 約

1971～1989年の漁場一斉調査およびスルメイカ稚仔調査結果を用いて、日本海におけるスルメイカ秋生まれ群資源の変動要因を検討し、次の結果を得た。

- 1) 1971～1989年の6月時点における調査海域には、秋生まれ群と冬生まれ群が分布しているが、完全加入しているのは秋生まれ群である。9月時点では秋生まれ群、冬生まれ群とも完全加入している。
- 2) 秋生まれ群と冬生まれ群の混合割合から秋生まれ群の密度指数が得られ、6月の密度指数と9月の密度指数との比から秋生まれ群の生残率を得た。生残率は1971～1980年が低く、1981～1989年では高くなっている。
- 3) 親魚量（9月の密度指数）と次世代の親魚量（翌年9月の密度指数）の関係はBeverton（1954）の再生産式に適合する。したがって数理モデルの仮定を満たすことになり、秋生まれ群の資源変動は漁獲の影響とみなすことができる。
- 4) 全死亡係数（ Z ）と親魚量の関係は、1971～1980年までは負の直線回帰関係がみられるが、1981～1989年では回帰関係は認められない。すなわち、1971～1980年までの変動は漁獲の影響であり、1981～1989年の変動は自然変動である。
- 5) 親魚量（9月の魚群密度指数）と稚仔量（稚仔分布の密度指数）の関係は正の直線回帰式に適合する。 $\gamma^2=0.694$ であり、稚仔量の変動の69.4%は親魚量によって決定され、30.6%が環境の影響となる。
- 6) 親魚量と稚仔量の直線回帰における残差（バラツキ）が環境の影響であるので、産卵期（10月）、産卵場の平均水温と残差の関係をみると、正の直線回帰式に適合する（ $\gamma^2=0.347$ ）。すなわち平均水温が高いほど卵から稚仔への生残が良い。
- 7) 稚仔量の変動の69.4%が親魚量、30.6%が環境によって決定され、環境の影響の内、水温が34.7%を占めるので、全体として稚仔量の変動に対する水温の影響は10.6%である。
- 8) 親魚量の変動要因は漁獲の力であるので、秋生まれ群資源の変動は漁獲の力が主で、環境の影響が従となる。したがって日本海における沖合イカ釣漁業の管理は可能である。

文 献

- 安達二郎 (1988) 日本海西部海域におけるスルメイカの漁業生物学的研究、島根県水産試験場研究報告 (5), 1-03.
- Beverton, R. J. H (1954) Notes on the use of theoretical models in the study of the dynamics of exploited fish populations, Misc. Comtr. Biol. Lab, Beaufort, No. 2, 1-55
(横田滝雄訳)
- 土井長之・川上武彦 (1979) 日本近海産スルメイカの生物生産と漁業の管理、東海区水産研究所研究報告 (99), 65-83.
- 伊東祐方 (1972) スルメイカの漁業、生活史および資源の現状の概要、農林水産技術会議研究成果 (57), 4-9.
- 笠原昭吾 (未発表) 日本海におけるいか類の資源と利用、第21回イカ類資源研究連絡協議会、特別講演.
- 日本海区水産研究所 (1971~1990) 日本海スルメイカ長期漁況海況予報に関する資料, I, II.
- 日本海区水産研究所 (1973~1990) 日本海および九州近海におけるスルメイカ稚仔分布調査報告 - 1~19.