

平成 15 年スルメイカ秋季発生系群の資源評価

責任担当水研：日本海区水産研究所（木所英昭、木下貴裕、後藤常夫）

参画機関：北海道区水産研究所、西海区水産研究所、北海道立中央水産試験場、青森県水産総合研究センター、秋田県水産振興センター、山形県水産試験場、新潟県水産海洋研究所、富山県水産試験場、石川県水産総合センター、福井県水産試験場、京都府立海洋センター、兵庫県但馬水産技術センター、鳥取県水産試験場、島根県水産試験場、山口県水産研究センター、長崎県総合水産試験場

要 約

スルメイカ秋季発生系群の資源量は、漁獲による影響に加え、年々および中長期的な環境の変化によって変動する。資源調査結果や漁獲量から判断すると、近年の資源量は M S Y 水準を超える高い水準で横ばい傾向となった。管理基準値は産卵親魚量と翌年の資源量の関係から再生産関係式を求め、再生産関係式より推定した F_{msy} を用いた。その結果、 F_{msy} は 0.812 と推定され、2004 年の予測資源量が 133 万トンであることから、2004 年の A B C limit は 5 8 万 0 千トン（漁獲割合は 43.5%）、不確実性を考慮した A B C target は 4 8 万 5 千トン（漁獲割合は 36.4%）と計算された。

	2004 年 A B C	資源管理基準	F 値	漁獲割合
A B C limit	5 8 0 千トン（2 6 7 千トン）	F_{msy}	0.812	43.5%
A B C target	4 8 5 千トン（2 2 4 千トン）	$0.78 F_{msy}$	0.633	36.4%

（ ）内は我が国 EEZ 内の A B C。F 値は加入後産卵までの 6 ヶ月間の値。

（資源量・漁獲量・漁獲割合）

年	資源量（千トン）	漁獲量（千トン）	F 値	漁獲割合
2001	1 5 5 2	2 6 3	0.252	17.0%
2002	1 7 7 2	2 8 5	0.238	16.1%
2003	1 1 9 5			

（水準・動向）

水準：高位 動向：横ばい

1. まえがき

スルメイカは我が国で最も重要な水産資源の一つであり、農林水産統計によると我が国漁獲量の6%、生産額では3%を占めている。スルメイカはいか釣り、定置網、底びき網漁業等によって漁獲されるが、秋季発生系群についてはそのほとんどはいか釣り漁業によって漁獲される。いか釣り漁業は、中型いか釣り漁船（30～185トン（2001年までは30～138トン）による近海いかつり漁業と、小型いか釣り漁船（30トン未満）による沿岸いかつり漁業に分けられ、それぞれ大臣許可制と知事許可制（5～30トン未満）になっている。スルメイカは我が国の他、韓国、中国、北朝鮮によっても漁獲されている。特に韓国による秋季発生系群の漁獲量は多く、近年では我が国を上回る漁獲量となっている。しかし韓国以外の国に関しては資料が少なく、漁獲の実態が明らかでない。

2. 生 態

（1）分布・回遊

スルメイカは日本周辺海域に広く分布し、周年にわたり再生産を行っている。その中でも秋季から冬季に発生した群が卓越し、産卵時期や分布回遊の違いから主に秋季発生系群と冬季発生系群の2系群に分けることができる。各系群の分布回遊の概要は図1のとおりである。

秋季発生系群は主に日本海に分布し、夏～秋にかけて漁獲対象となる。冬季発生系群は主に太平洋に分布して秋以降を中心に漁獲対象となる。なお、冬季発生系群は資源水準が高くなると共に回遊範囲が拡大し、晩秋以降、津軽海峡や宗谷海峡を通過して日本海に移入し、産卵海域へ移動することが知られている（Nakata 1993；中村・森 1998；森・中村2001）。

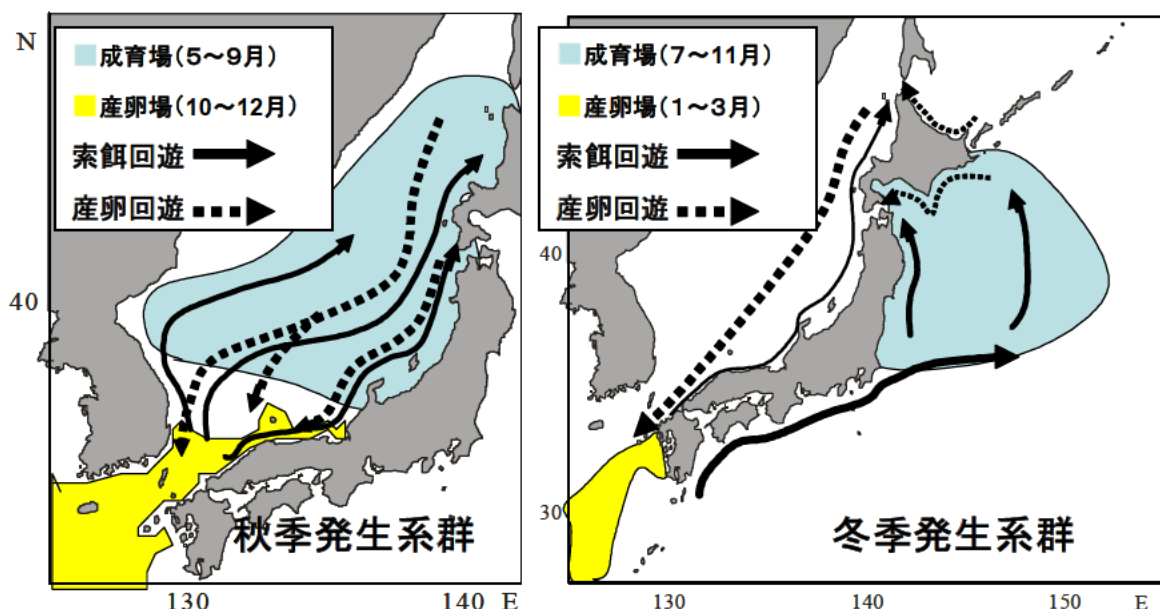


図1. スルメイカの分布回遊図（秋季発生系群と冬季発生系群）

(2) 年 齢 ・ 成 長

スルメイカは単年生であり、1年で成長・成熟し、産卵後に死亡する。近年、海域（温暖な環境）によっては半年程度で産卵を開始する可能性も指摘されている。なお、スルメイカの成長は発生時期や分布域及び雌雄によって異なるが（浜部・清水 1966；新谷 1967；木所・檜山 1996）、秋季発生系群の平均的な成長は図2のとおりである。

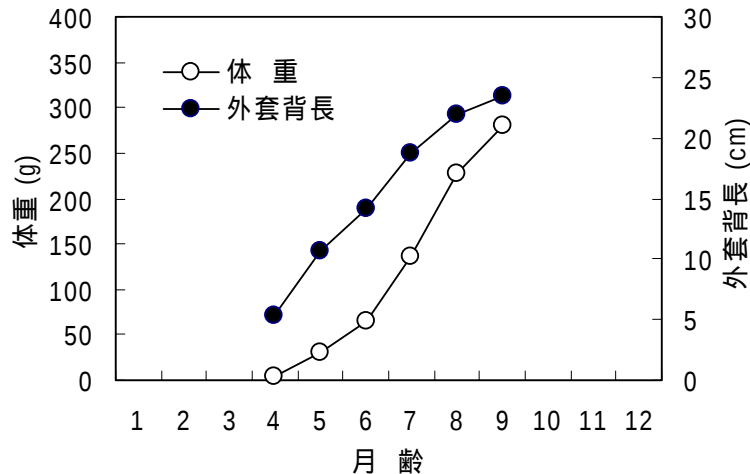


図 2 . スルメイカの成長

(3) 成 熟 ・ 産 卵

スルメイカの雄は孵化後7～8ヶ月から生殖腺が発達し始め、約9ヶ月で成熟すると共に雌と交配し始める。雌は雄よりも成熟が遅く、孵化後10ヶ月以降、産卵の直前になって急速に生殖器官を発達させ、産卵する。しかし、産卵回数が1回のみであるか、複数回行われるかは、確証が得られていない。

産卵海域は図1に示すとおりで、秋季発生系群は主に10～12月に北陸沿岸域から対馬海峡付近及び東シナ海で産卵し、冬季発生系群は主に1～3月に九州西岸から東シナ海で産卵する。

(4) 被 捕 食 関 係

日本海においてスルメイカは、対馬暖流域ではキュウリエソをはじめとする小型魚類を捕食するが、沖合の亜寒帯冷水域では動物プランクトンが主要な餌料となっている（沖山 1965）。一方、スルメイカは大型魚類や海産ほ乳類によって多く捕食されると考えられるものの、日本海における被食状況は明らかになっていない。また、孵化後100日前後の若齢個体を中心に共食いによる被食も多いとされている（木所・氏 1999）。

3 . 漁 業 の 状 況

(1) 主 要 漁 業 の 概 要

主漁場はスルメイカの回遊と共に移動する（図3）。秋季発生系群が主に漁獲される日本海では、沿岸域では主に小型いか釣り漁船、沖合域では中型いか釣り

漁船の漁獲対象となる。小型いか釣り漁船は生鮮として水揚げするが、中型漁船は漁獲物のほとんどを冷凍として水揚げされる。

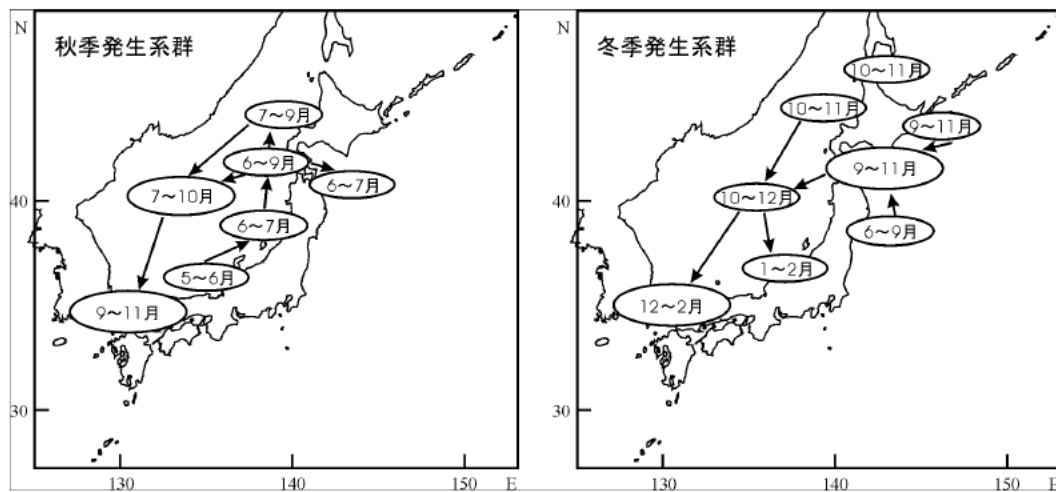


図3. スルメイカの主要漁場図（秋季発生系群と冬季発生系群）

（2）漁獲量の推移

スルメイカ秋季発生系群の漁獲量の推移（日本＋韓国）は図4及び表1のとおりである。なお、1978年以前の漁獲量については月別海域別の漁獲量の資料が整理されていないため、各系群への区分が困難である。そこで秋季発生系群が大部分を占めていた我が国の日本海の漁獲量を秋季発生系群の漁獲量として示した。我が国のスルメイカ秋季発生系群の漁獲量の変化は以下のとおりである。

- イ）1960年代後期以降、日本海中央部で漁場が開発されるとともに増加し、ピーク時の1975年には30万7千トンに達した。
- ロ）1970年代半ば以降は減少に転じ、1986年には5万5千トンに落ち込んだ。
- ハ）1987年には14万トンに増加し、その後1990年代は13～15万トン程度で推移していた。
- ニ）1998年には10万8千トンに減少したが、翌1999年には14万トンに回復した。
- ホ）2000年以降は12万トン前後の値となっている。

一方、スルメイカ秋季発生系群を対象とした韓国の漁獲量は1980年代までは3万トン前後であったが、1990年以降急速に増加し、13万トン前後で推移している。1999年以降は我が国を上回る漁獲量となっており、秋季発生系群の漁獲量全体に占める近年5年間の韓国の比率は54%（我が国は46%）である。

秋季発生系群全体（日本と韓国の合計）で見ると、韓国の漁獲量の急速な増加により1996年及び1999年には30万トンを超え、近年は沖合漁場が開発された直後にピークを迎えた1970年代前半と同水準の漁獲量となっている。

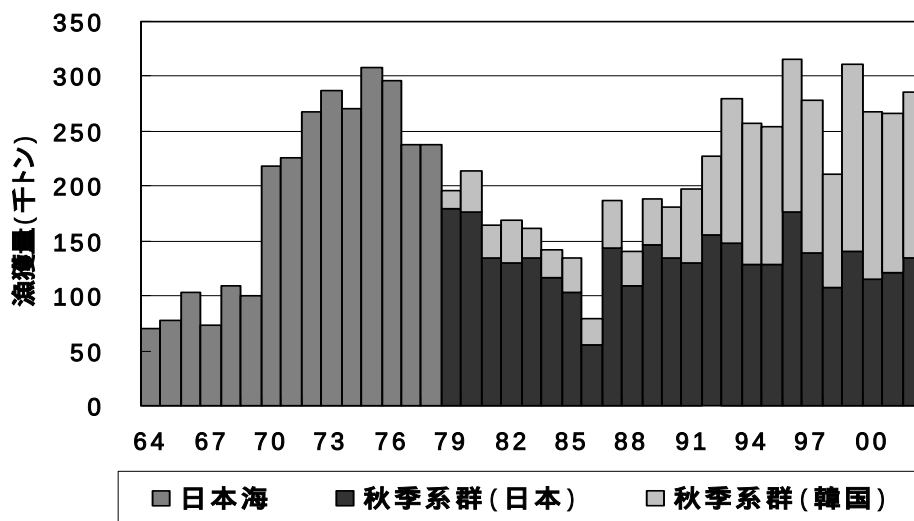


図 4 . スルメイカ秋季発生系群の漁獲量の推移

表 1 . スルメイカの系群別漁獲量

年	秋季発生系群			冬季発生系群			計
	日本	韓国	計	日本	韓国	計	
1979	178,901	17,725	196,626	41,922	8,407	50,329	246,955
1980	176,853	37,469	214,322	153,914	11,022	164,935	379,257
1981	134,366	29,962	164,328	66,949	16,753	83,702	248,030
1982	130,867	38,360	169,227	51,870	15,565	67,435	236,662
1983	135,327	25,908	161,234	56,650	11,379	68,029	229,263
1984	116,720	25,017	141,737	61,799	14,593	76,392	218,129
1985	103,719	30,548	134,267	27,688	12,331	40,019	174,286
1986	55,430	23,265	78,695	37,928	13,950	51,877	130,572
1987	144,017	43,580	187,597	44,539	17,350	61,889	249,485
1988	108,976	31,915	140,891	41,669	17,611	59,280	200,171
1989	146,221	41,767	187,987	65,098	24,119	89,216	277,203
1990	134,794	45,462	180,255	75,385	29,832	105,217	285,472
1991	130,359	66,914	197,273	115,360	42,989	158,349	355,622
1992	154,830	72,712	227,542	236,379	67,080	303,459	531,001
1993	148,048	131,471	279,518	165,940	84,697	250,636	530,155
1994	128,121	128,597	256,718	166,224	60,975	227,199	483,917
1995	128,135	125,558	253,693	168,320	75,339	243,659	497,352
1996	176,916	139,259	316,175	267,095	113,360	380,455	696,629
1997	139,821	138,714	278,534	225,793	86,246	312,038	590,572
1998	108,089	102,992	211,081	73,401	60,024	133,425	344,506
1999	140,482	170,980	311,461	98,917	79,012	177,929	489,390
2000	115,003	152,677	267,679	245,353	73,633	318,986	586,665
2001	120,755	146,033	266,788	172,913	79,583	252,496	519,284
2002	135,125	150,286	285,411	125,339	76,371	201,709	487,120
過去5年EEZ比	0.4614	0.5386		0.6601	0.3399		

4 . 資源の状態

(1) 資源評価方法

秋季発生系群が中心となる日本海では、漁場一斉調査の結果を用いて資源の変動傾向が把握されている。ここでは、漁場一斉調査結果によって算出される資源量指数で変動傾向を把握すると共に、これまでの資源量推定結果を用いて資源量指数を定量化した。さらに漁獲量と自然死亡係数を与えることによって1979年以降の産卵親魚数を推定した。資源量推定方法の詳細は参考資料 1 のとおりである。

(2) C P U E

日本海における中型いか釣り漁船（30～180 トン）のC P U E（1隻1日あたりの漁獲量）の変化を図5に示す。1978年から1980年代後半にかけては主に1トン以下となっていたが、1989年以降は急激に増加し、1996年及び1997年には3トン以上となった。その後1998年にはやや減少したものの、2001年および2002年は再び3トン以上となった。中型いか釣り漁船の隻数は年々減少しており、C P U Eの増加は資源量の増加に加え、漁船数の減少による影響（好漁場のみで操業、成績の良い漁船のみ操業）もあると考えられる。

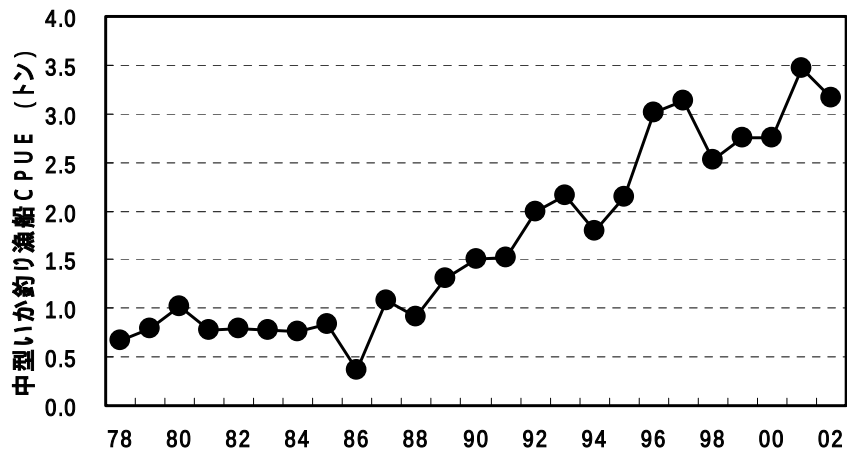


図5．日本海における中型いか釣り漁船のC P U E

(3) 外套背長組成の推移

漁場一斉調査（補足資料1-1-1）で採集された個体のC P U Eで重み付けした体長組成を図6に示す。2003年の体長組成は、外套背長21cm以上の個体は最近5年平均並みであったが、外套背長20cm以下の個体は昨年よりも大幅に少なかった。

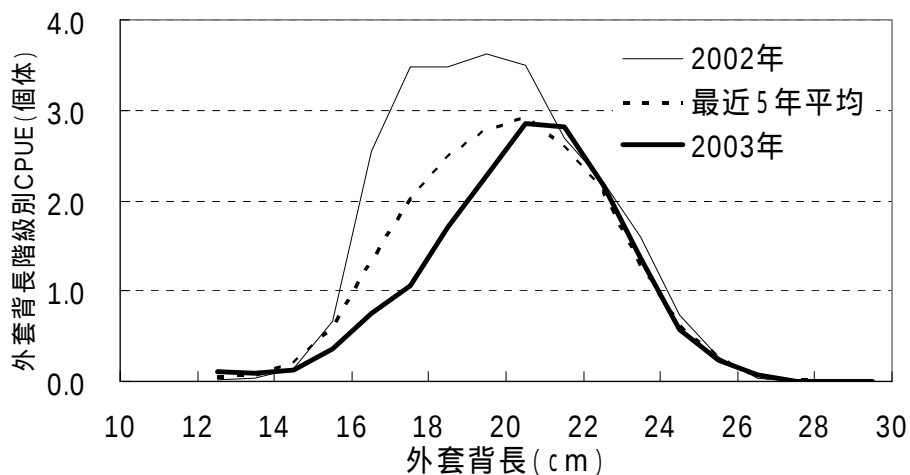


図6．漁場一斉調査結果による各年の外套背長組成

(4) 資源量の推移

2003年6～7月に実施された漁場一斉調査の結果、2003年の資源量指数は16.88であり、2003年におけるスルメイカ秋季発生系群の資源量は119万トン（42.7億個体）と推定された（図7）。

産卵親魚量は、資源量と同様の変動傾向にあり、1980年代前半は減少傾向であったが、1987年以降は増加に転じ、1992年以降は30～80万トンと推定された。1998年は一時的に減少したものの、翌1999年には回復し、2002年および2003年は、近年で最も高い水準（80万トン）になっている。推定した産卵親魚量の変動傾向は、産卵親魚量を指標すると考えられる幼生の分布密度でも確認できる。

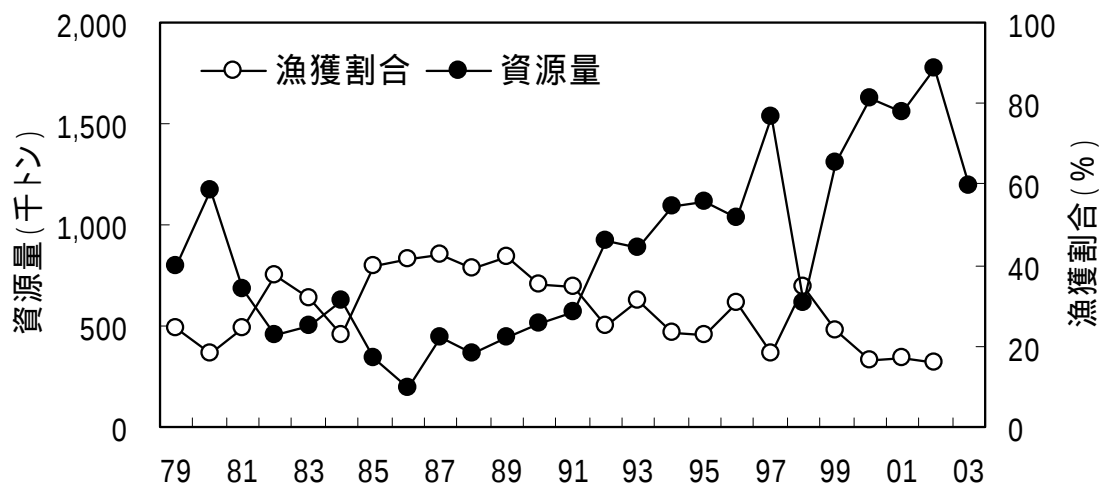


図7．スルメイカの資源量 1979～2000年の平均資源量を783,000トン、平均漁獲率を0.30と仮定して計算した値。

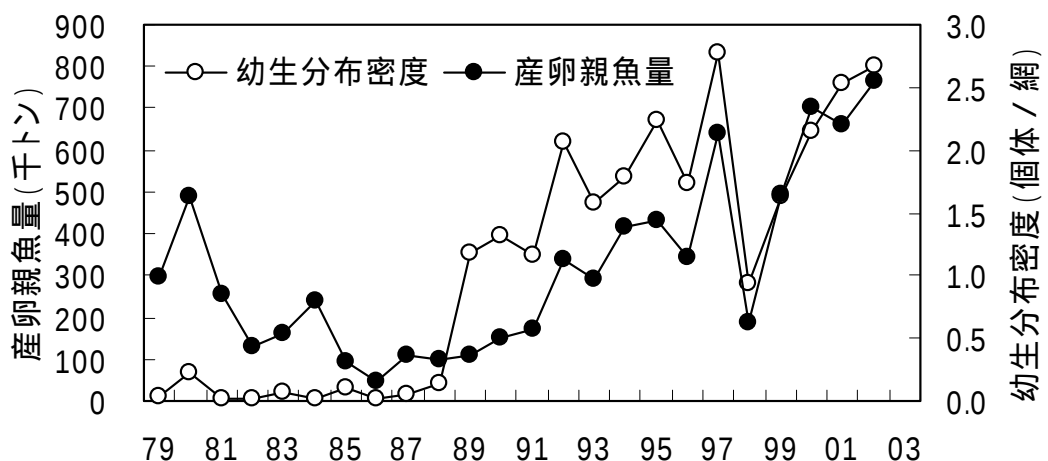


図8．スルメイカの推定産卵親魚量 産卵親魚量の目安となるスルメイカの幼生分布密度も合わせて示す。

(5) 資源水準・動向

資源量および産卵親魚量の変化から、2003年のスルメイカ秋季発生系群の資源は「高水準・横ばい」と判断した。

5. 資源変動要因

(1) 資源と漁獲の関係

漁獲係数は1980年代半ばにかけて高くなっていたが、1980年代後半から減少傾向となっている（図9）。なお、資源量と漁獲死亡係数の間には負の相関関係がみられ、資源量が多いときは漁獲率が低下するが、資源量が減少するに従い、漁獲率が上昇する傾向にある（図10）。

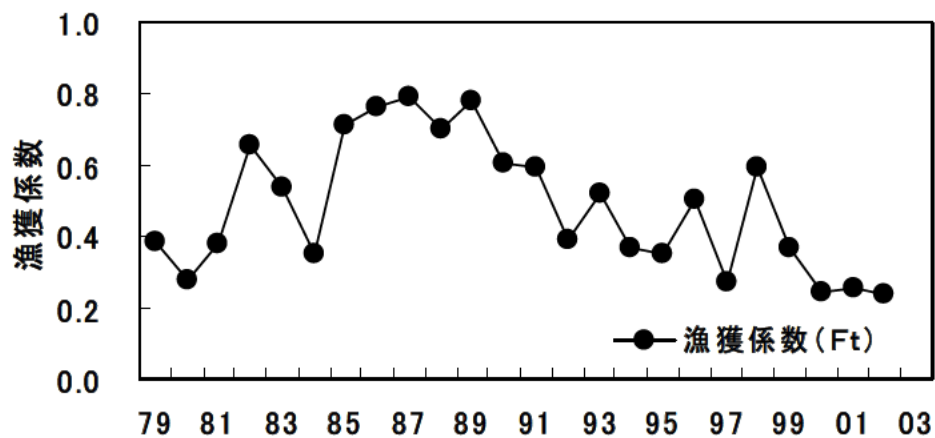


図9. 漁獲係数の経年変化

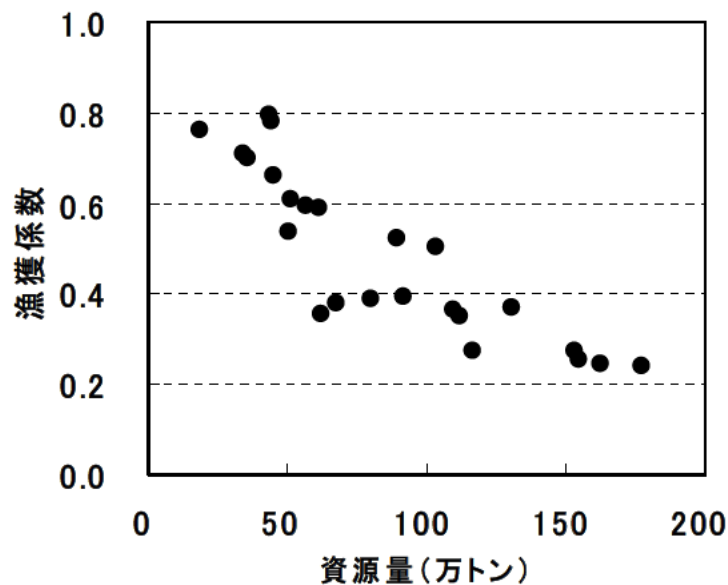


図10. 漁獲係数と資源量との関係

(2) 資源と海洋環境の関係

スルメイカの資源量は中長期的および短期的な海洋環境の変化によって変動することが報告されている(Okutani and Watanabe 1983; 村田・新谷 1977; 桜井 1998; 木所・後藤 1999; 木所ら2002)。特にレジームシフトと呼ばれる中長期的な海洋環境の変化は、マイワシをはじめとする小型浮魚類に加え、スルメイカの資源水準にも大きな影響を与えられている(Sakurai *et al.* 2000)。レジームシフトは1980年代後半に起こり、寒冷期から温暖期に移行したとされている(図11)が、レジームシフトの年を境にスルメイカの資源量が増加に転じている。一般に海洋環境が温暖な年代はスルメイカの再生産にとって好適な年代であるが、寒冷な年代はスルメイカの資源にとって不適な年代になると考えられている。なお、系群による特徴として、秋季発生系群は冬季発生系群と比較して漁獲量および資源量の変動幅および年による変化が小さい。

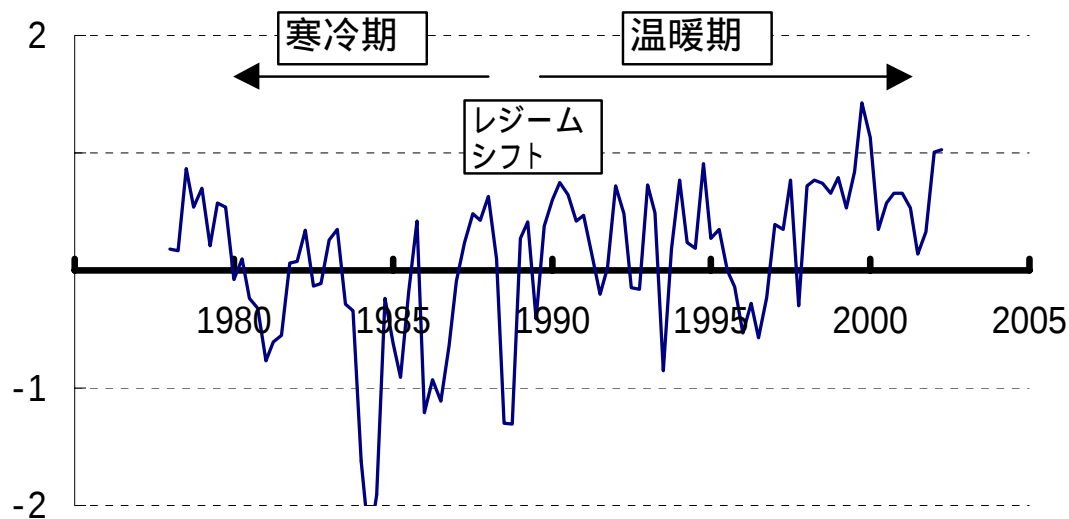


図11．対馬暖流域の水深50m水温の平均値(1964～2001年)からの偏差(°C)

海洋環境が与えるスルメイカ資源への影響の仮説として桜井ら(20003)は、冬季の東シナ海における水温に加え、対馬海峡の季節水温躍層と幼生の分布状況の関係(山本 2002)をもとに再生産可能水域を推定し、推定した再生産可能水域が冬季の季節風によって大きく変化することから、冬季の季節風がスルメイカの資源変動に大きな影響を与えると報告している。一方、木所ら(2003)は、日本海における海洋構造の変化がスルメイカの回遊経路を変化させるとともに産卵場の形成位置が変化することを示し、このような変化が資源変動を引き起こす要因になっているとも考えている。

以上のようにスルメイカの資源変動は海洋環境と深く関係があることが指摘され、影響を与えるプロセスについても様々な仮説を基に検証が進められているが、依然不明な点が多く、今後も調査結果をもとに検討していく必要がある。

A B C の設定

(1) 資源評価のまとめ

スルメイカ秋季発生系群は中長期的な海洋環境の変化によって再生産状況が変化する。1980年代は不適な海洋環境と高い漁獲率によって資源が減少し、低水準で推移した。しかし、1990年代以降、好適な環境への変化と漁獲率の低下によって資源は増大し、近年はM S Y水準を超える高い水準を維持している。

(2) 資源管理目標

近年の好適な環境下におけるM S Y水準の維持を目標とする。

(3) 2004年A B C の設定

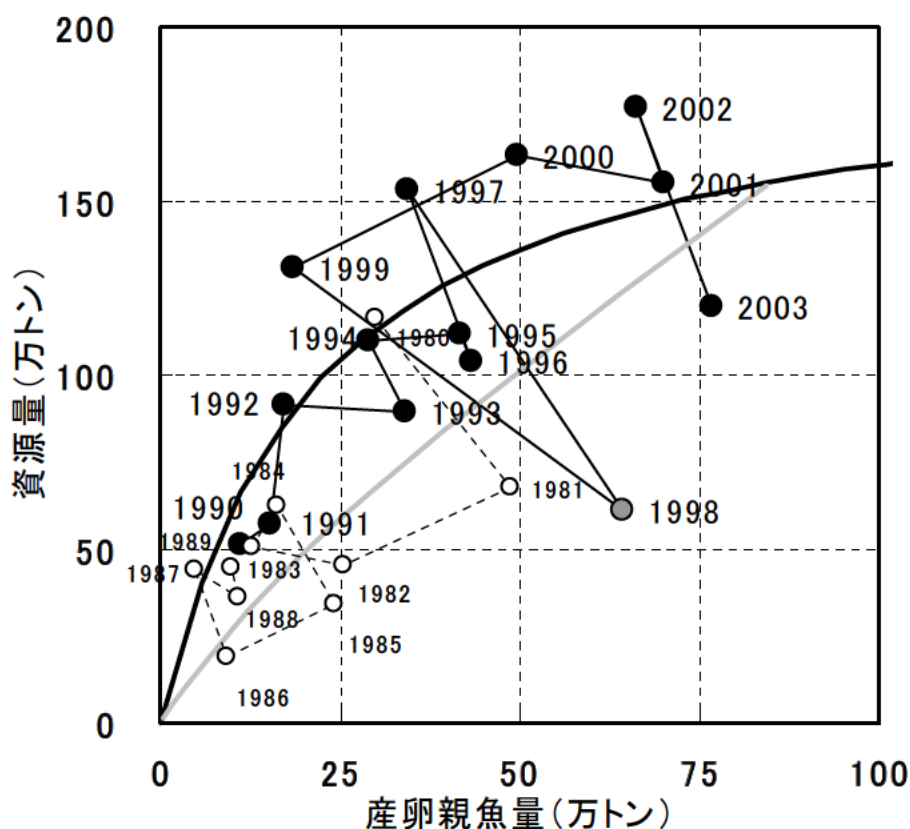


図12. 再生産曲線 1990年以降の資源個体数と産卵親魚数の関係 (●) をもとに推定. ただし、1998年の値 (●) は除いた. ○は1980～1989年の関係を示す.

管理基準値は「資源管理基準と漁獲制御ルール (平成15年度)」に従って算出した。現在のスルメイカ秋季発生系群の資源は高水準で横ばい傾向にあることから、漁獲制御ルールの1-1)-(1)を適用した。なお管理基準値となる F_{msy} および次年度の資源量は再生産関係 (図12) より推定した。再生産関係を用いて管理基準値となる F_{msy} は0.812と推定さ

れ、MSYは46.8万トン（この時の資源量106万トン）と計算された（図13）。また、2003年の漁獲死亡係数として近年5カ年の漁獲死亡係数の平均値（0.339）を用いると、2003年は産卵親魚として46.7万トンが確保され、再生産関係より2004年の資源個体数は133万トンと予測される（図12）。推定された管理基準値（ $F_{limit}=F_{msy}=0.812$ ）と、ABCの対象年となる2004年の予測資源量（133万トン）から2004年のABC limitは58.0万トンと計算された。

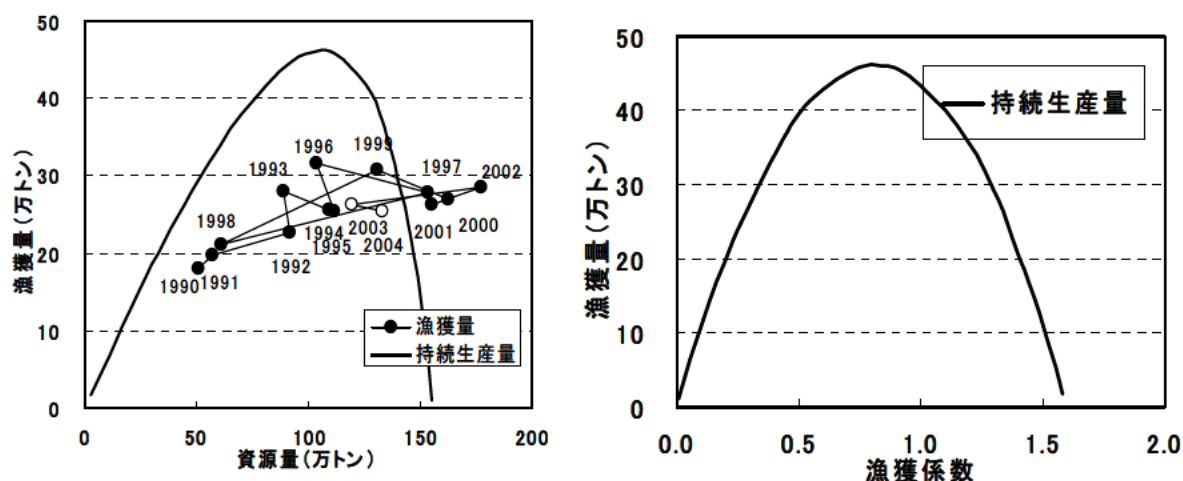


図13. スルメイカ秋季発生系群の持続生産量 1990年以降の漁獲量と持続生産量との関係を合わせて示した（左図）。2003年および2004年（○）は予想漁獲量。

ABC targetは、再生産関係の不確実性を考慮に入れたシミュレーション（資料1）を基に、今後10年間で資源が低水準（50万トン以下）になる確率が5%以下となる値（ $F_{target}=0.633$, $\alpha=0.78$ ）を採用した（図14）。なお F_{target} で漁獲した場合、今後10年間の平均漁獲量は F_{limit} で漁獲した場合の95%となる。

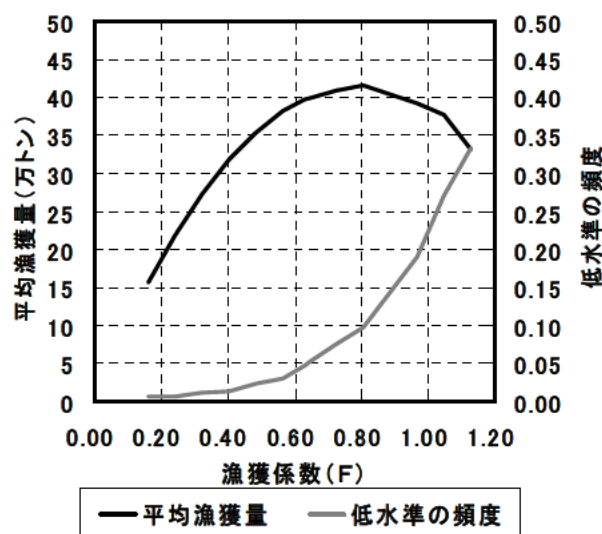


図14. シミュレーションによる各漁獲係数における平均漁獲量と低水準年（資源量が50万トン以下）の出現頻度

2004年ABC		資源管理基準	F 値	漁獲割合
ABC limit	580千トン(267千トン)	F _{msy}	0.812	43.5%
ABC target	485千トン(224千トン)	0.78 F _{msy}	0.633	36.4%

() 内は我が国EEZ内のABC。F 値は加入後産卵までの6ヶ月間の値。

(4) F 値の変化による資源量(産卵親魚量)及び漁獲量の推移

スルメイカの資源が、好適な環境である1990年代以降の再生産関係に従うとして、各漁獲係数で漁獲した場合の資源量および漁獲量の変化を示す。

資源量(千トン)						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0.2Flimit	1195	1333	1448	1478	1486	1488
Fcurrent	1195	1333	1378	1392	1396	1397
0.6Flimit	1195	1333	1318	1314	1312	1312
Ftarget	1195	1333	1252	1223	1213	1209
Flimit	1195	1333	1169	1107	1081	1069
1.2Flimit	1195	1333	1096	1002	957	935
1.4Flimit	1195	1333	1018	887	821	784

産卵親魚量(千トン)						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0.2Flimit	467	623	676	691	694	695
Fcurrent	467	521	539	544	546	546
0.6Flimit	467	452	447	445	445	444
Ftarget	467	388	365	356	353	352
Flimit	467	325	285	270	263	260
1.2Flimit	467	279	229	209	200	196
1.4Flimit	467	237	181	158	146	140

漁獲量(千トン)						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0.2Flimit	263	150	163	167	167	168
Fcurrent	263	293	303	306	307	307
0.6Flimit	263	392	388	387	386	386
Ftarget	263	485	455	445	441	440
Flimit	263	580	509	482	470	465
1.2Flimit	263	650	535	488	467	456
1.4Flimit	263	715	546	476	440	420

(5) ABC limitの検証

1990年代以降の再生産関係に不確実性および短期的な海洋環境の変化を与え、 F_{limit} で漁獲した場合の資源量および漁獲量のシミュレーション結果を示す。平均値でみると、資源量は現在の資源量より低い100万トン付近（MSY水準）で安定するが、漁獲量は現在の水準よりも高い40万トン前後で推移する。

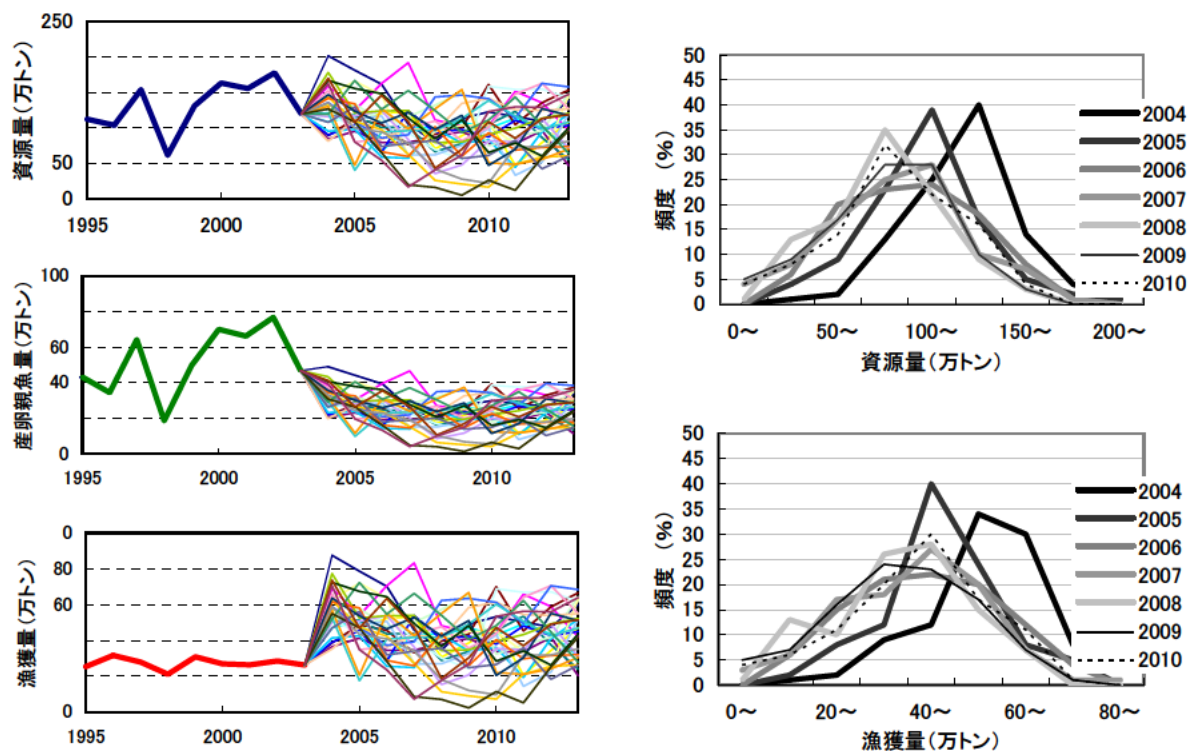


図15. F_{limit} (=0.812) で漁獲した場合の資源量、産卵親魚量、漁獲量のシミュレーション結果 左図は30回反復結果による経年変化，右図は100回反復結果による頻度分布。

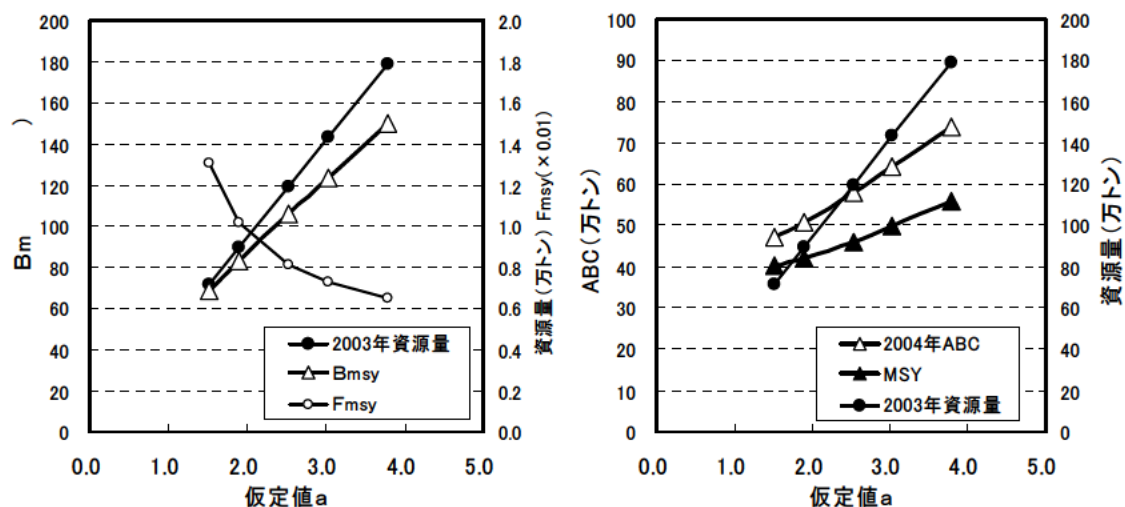


図16．仮定した資源水準（係数 a ）による推定値の変化

仮定値(a)	平均漁獲率	2003年資源量 (万トン)	Bmsy (万トン)	Fmsy (万トン)	2004年ABC (万トン)	MSY (万トン)
数量						
3.792	0.20	179.2	150.1	0.65	73.8	55.7
3.033	0.25	143.4	123.8	0.73	64.2	49.8
2.528	0.30	119.5	106.0	0.81	58.0	46.1
1.896	0.40	89.6	83.1	1.02	50.7	41.9
1.517	0.50	71.7	68.9	1.31	47.1	40.3
比率						
1.50	0.67	1.50	1.42	0.80	1.27	1.21
0.60	1.67	0.60	0.65	1.61	0.81	0.87

2003年の資源量およびBmsyは仮定した a によって大きく変化する。しかし変化させたどの仮定値 a においてもBmsyは2003年の資源量よりも小さい値であり、資源水準は高位と判断される。一方、ABCおよびMSYは仮定した a による変化は少なく、頑健な推定値である。

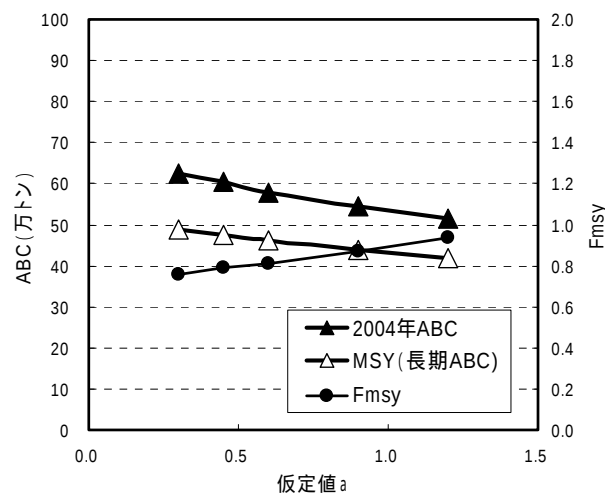


図17．仮定した自然死亡係数（ m ）による推定値の変化

また、自然死亡係数を変化させても算定されるABCの変化は小さく、仮定した自然死亡係数によるABCの算定結果への影響は小さいと判断される。

（6）過去の管理目標・管理基準値，ABCのレビュー

当初：評価対象年の前年8月時点、再評価：評価対象年の8月時点

評価対象年	管理基準	資源量	ABClimit	ABCtarget	漁獲量	管理目標
2002(当初)	Fmed (0.593)	1878	650	546		資源水準(高位)の維持
2002(再評価)	Fmed (0.719)	1772	708	581	285	MSY水準の達成・維持
2003(当初)	Fmsy (0.719)	1599	638	512		MSY水準の達成・維持
2003(再評価)	Fmsy (0.802)	1195	516	432		MSY水準の達成・維持

7．A B C 以外の管理法策への提言

スルメイカの資源水準は漁獲による影響に加え、中長期的な海洋環境の変化が関与している。したがって海洋環境や幼生の分布状況（産卵海域の形成位置）のモニタリング調査（補足資料1-1-2））を継続して実施することで中長期的な海洋環境の変化を把握することが重要である。そして水温の低下や海洋構造の変化および産卵場形成位置の変化が観察された場合は、スルメイカの資源動向が変化する兆候として対応策を検討する必要がある。また、スルメイカの再生産は短期的な海洋環境の変化により、大きく変化する可能性がある。そのため新規加入量調査（補足資料1-1-3））によって、再生産状況を早期に把握していくことも重要である。

8 . 引用文献

- 安達二郎 (1987) スルメイカは2回産卵することの検討. イカ類資源・漁海況検討会議研究報告(昭和61年度), 17-24, 東北水研八戸.
- 安達二郎 (1988) 日本海西部海域におけるスルメイカ、*Todarodes pacificus* Steenstrup、の漁業生物学的研究. 島根県水産試験場研究報告, (5), 1-93.
- 新谷久男 (1967) スルメイカの資源. 水産研究叢書, (16), 66pp, 日本水産資源保護協会.
- 後藤常夫 (1999) 口径 45cm ブランクトンネットの鉛直曳きによるスルメイカ幼生の採集とその有効性(要旨). イカ類資源研究会議報告(平成10年度), 99-100, 北水研.
- Goto, T. (2002) Paralarval distribution of the ommastrephid squid *Todarodes pacificus* during fall in the southern Sea of Japan and its implication for locating spawning grounds. *Bul. mar. sci.* 7(1), 299-312.
- 浜部基次・清水虎雄 (1966) 日本海西南海域を主としたスルメイカの生態学的研究. 日水研報告, (16), 13-55.
- 笠原昭吾・永澤亨 (1988) 対馬暖流系スルメイカ稚仔分布の経年変動. イカ類資源・漁海況検討会議報告(昭和62年度), 34-45, 北水研.
- 木所英昭・氏良介 (1999) 共食いで捕食されたスルメイカの孵化後の日数の推定. 日水研報告, (49), 123-127.
- 木所英昭・後藤常夫 (1999) 1998年の日本海におけるスルメイカの減少と今後の動向について. イカ類資源研究会議報告(平成10年度), 1-8, 北水研.
- 木所英昭・檜山義明 (1996) 日本海におけるスルメイカの分布海域による成長の差異. 日水研報告, (46), 77-86.
- 木所英昭・後藤常夫・笠原昭吾 (2003) 日本海におけるスルメイカの産卵場の変化と海洋構造の変化の関係. イカ類資源研究会議報告(平成15年度), 日水研, 印刷中.
- 木所英昭・森賢・後藤常夫・木下貴裕 (2002) 我が国におけるスルメイカの資源評価・管理方策について. 資源管理談話会報, (30), 18-35, 日本鯨類研究所.
- 森賢・中村好和 (2001) 標識放流から推定したスルメイカ太平洋系群の回遊経路. 北水研報告, (65), 21-43.
- 町中茂・宮下民部・宮島英雄・笠原昭吾 (1980) 1979年日本海沖合水域におけるスルメイカ標識放流の再捕結果と資源特性値の推定. 石川水試研究報告, (3), 37-52.
- 村田守・新谷久男 (1977) スルメイカ冬生まれ群資源の現状と問題点. スルメイカ資源・漁海況検討会議シンポジウム報告, 1-14, 日水研.
- 中村好和・森賢 (1998) 1996年の道東・南部千島太平洋並びにオホーツク海でのスルメイカとアカイカの分布と回遊. 北水研報告, (62), 63-82.
- Nakata, J. (1993) Long-term changes in catch and biological features of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) in waters off the east coast of Hokkaido. pp.343-350. In *Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology*, ed. by Okutani, T., O'Dor, R. K. and Kubodera, T., Tokai University Press, Tokyo.

- 日本海区水産研究所 (1997) 対馬暖流系スルメイカ. 平成 9 年度我が国周辺漁業資源評価票, 水産庁.
- 日本海区水産研究所 (1998) 対馬暖流系スルメイカ. 平成 10 年度我が国周辺漁業資源評価票, 水産庁.
- Okutani, T. and Watanabe, T. (1983) Stock assessment by larval survey of the winter population of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae), with a review of early works. Biol. Oceanog. 2, 401-431.
- 沖山宗雄 (1965) 日本海沖合におけるスルメイカ *Todarodes pacificus* STEENSTRUP の食性. 日水研報告, (14), 31-42.
- 桜井泰憲 (1998) 気候変化に伴うスルメイカ資源変動のシナリオ. 海洋, 30, (7), 424-435.
- Sakurai, Y., Kiyofuji, H., Saitoh, S., Goto, T. and Hiyama, Y. (2000) Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. ICES journal of Marine Science, (57), 24-30.
- 桜井泰憲・山本 潤・木所英昭・森 賢 (2003) 気候のレジームシフトに連動したスルメイカの資源変動. 海洋, 35, (2), 100-106.
- 山本 潤 (2002) 日本海南西海域におけるスルメイカ秋生まれ群の再生産機構に関する研究. 北海道大学院水産科学研究科博士論文, 111pp.
- 谷津明彦・木所英昭・木下貴裕 (2002) スルメイカの資源水準によりパラメータを変化させたプロダクションモデル. 平成 14 年度日本水産学会大会講演要旨集, 20.

補足資料 1 - 1

調査船調査の一覧と解説

1) 漁場一斉調査および資源量指数

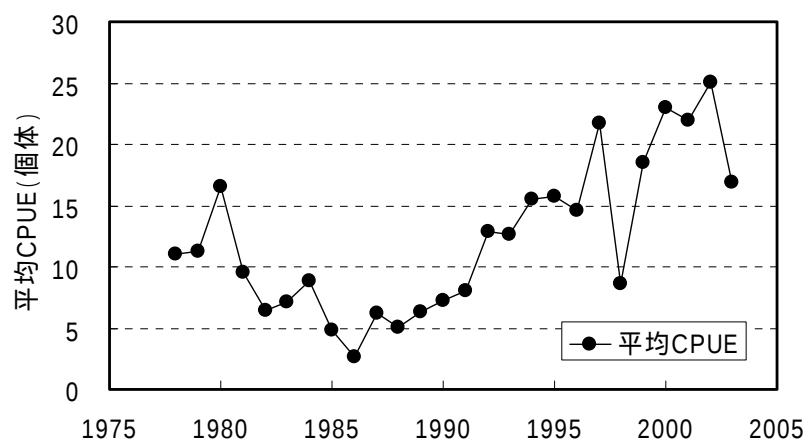
漁場一斉調査（釣獲試験調査）

スルメイカ秋季発生系群の主分布域である日本海では、6月から7月にかけて、日本海側各試験研究機関共同で釣獲試験による分布調査（漁場一斉調査）が継続して実施されている。この調査は通常ロシアEEZ内を含む（2000年および2002～2003年は我が国EEZ内のみ）日本海のほぼ全域を対象に60～70の調査点で実施され、魚群の分布状況や魚体の大きさが把握されている。

これまで日本海では、漁場一斉調査で得られた全調査点のCPUEの平均値を資源量指数として用いて変動状況を把握し、スルメイカの資源評価や漁況予報を行われてきた。漁場一斉調査は、1994年以前は6月，7月，9月の3回実施されてきたが、1995年以降は7月のみの実施となっている。したがって、現在、資源評価に用いる資源量指数は、1995年を境に下記のように求めている。

- (a) 1995年以降は実施した全調査点の平均CPUE（釣機1台1時間あたりの採集個体数）を資源量指数として計算。
- (b) 1994年以前は、実施された調査点が海域的に重複している部分が多いことから、6～7月の調査海域を緯経度1度範囲の小海区に区分し、各小海区内で実施された調査の平均CPUEを小海区のCPUEとして求め、全小海区の平均CPUEを資源量指数として計算。

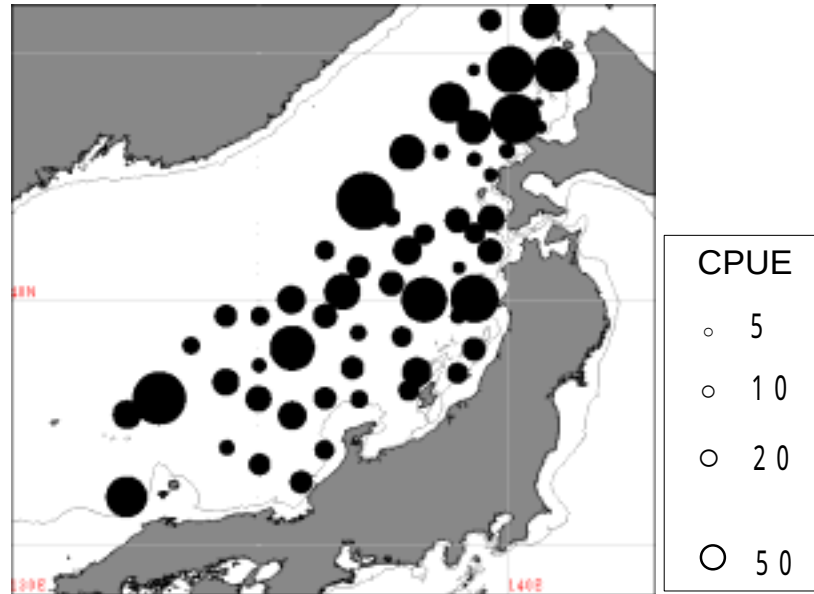
1978年以降の資源量指数の変化を付図1に示す。資源量指数は、1980年代前半は減少傾向にあり、1986年には1980年の1/7にあたる2.67個体に減少した。しかし1987年以降は増加傾向に転じ、1990年代は1998年に一時的に減少したものの、概ね15個体前後で推移している。2000年以降は20個体以上に増加し2002年には25.04に達したが、2003年は2002年の67%である16.88に減少した。



付図1. 資源量指数の経年変化

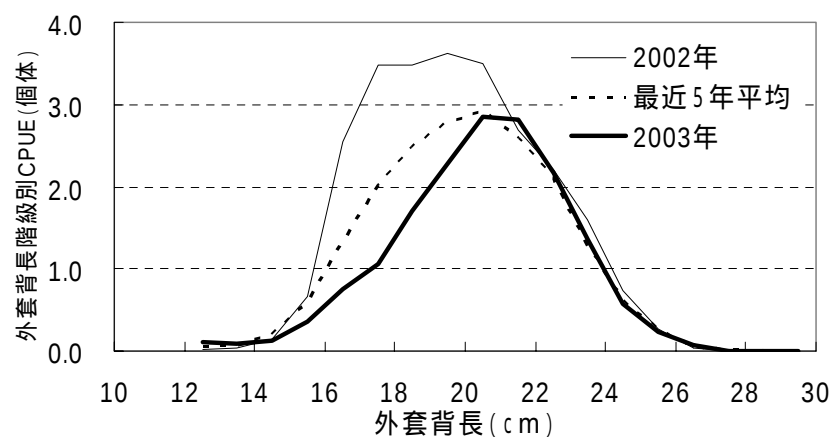
2003年の調査結果を付図2に示す。2003年は2002年に特徴的であった道北海域における高密度分布域が見られず、また全体的にも昨年と比較して高い分布密度の海域が少なかった。

全外套背長範囲の分布



2003年6～7月日本海におけるスルメイカの分布状況
(CPUE; 釣機1台1時間当たりの採集個体数)

分布していた魚体の大きさを CPUE で重み付けした平均外套背長組成（各外套背長階級の釣機1台1時間あたりの平均採集個体数）で示す（付図3）。2003年は全体としてピークが20～21cm 台の単峰型の組成となっていた。2002年の組成と比較すると、外套背長16～20cm 台の個体が大きく減少していた。しかし、外套背長21cm 以上の個体は、2002年および近年平均とほぼ同じ分布密度となっていた。つまり、2003年の資源量の減少は主に外套背長21cm 未満の個体の減少によると判断することが出来る。

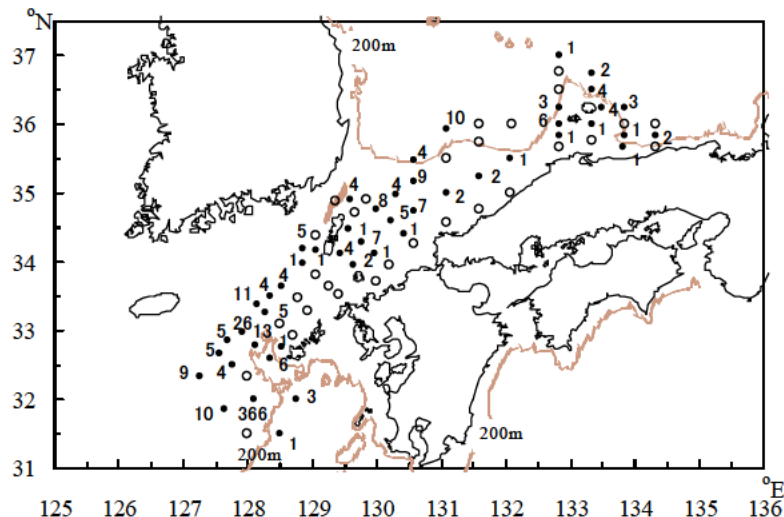


付図3．漁場一斉調査で漁獲したスルメイカの外套背長組成

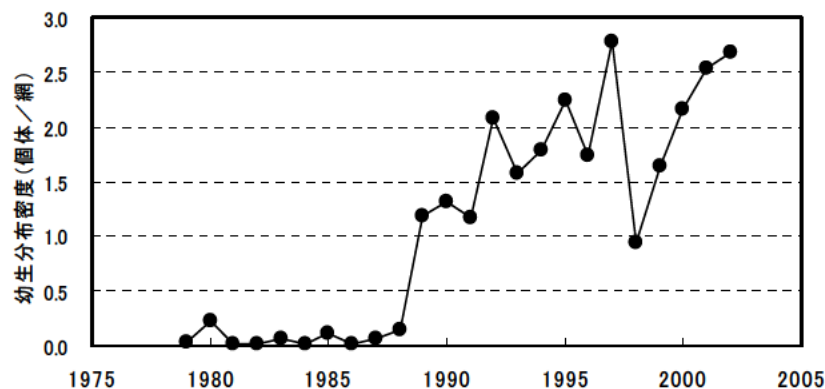
2) 稚仔分布調査

スルメイカ幼生の分布状況把握を目的として、10～11月にスルメイカ秋季発生系群の主産卵場である山陰から九州北西部沿岸域で口径45cm（鉛直曳）及び80cm（傾斜曳）のプランクトンネットを用いて実施されている（付図4）。幼生の分布密度は翌年の加入量よりもその年の産卵親魚量との相関が高いことが知られる（笠原・永澤1988）、特に口径45cmのプランクトンネットによる結果は、資源水準が高い年代には親魚の資源水準を把握するのに有効であることが報告されている（後藤1999）。

スルメイカ幼生の分布密度は、1980年代は低い値であったが1989年以降増加し、資源量指数同様1990年代は高水準になっている（付図5）。なお、1998年は、資源量指数同様、約半分の水準に減少したが、翌1999年には回復し、2002年は近年で最も高い値を示している。よって稚仔分布調査を基にすると、近年のスルメイカ秋季発生系群の産卵親魚量は多く、良好な再生産状況を維持していると推察することができる。

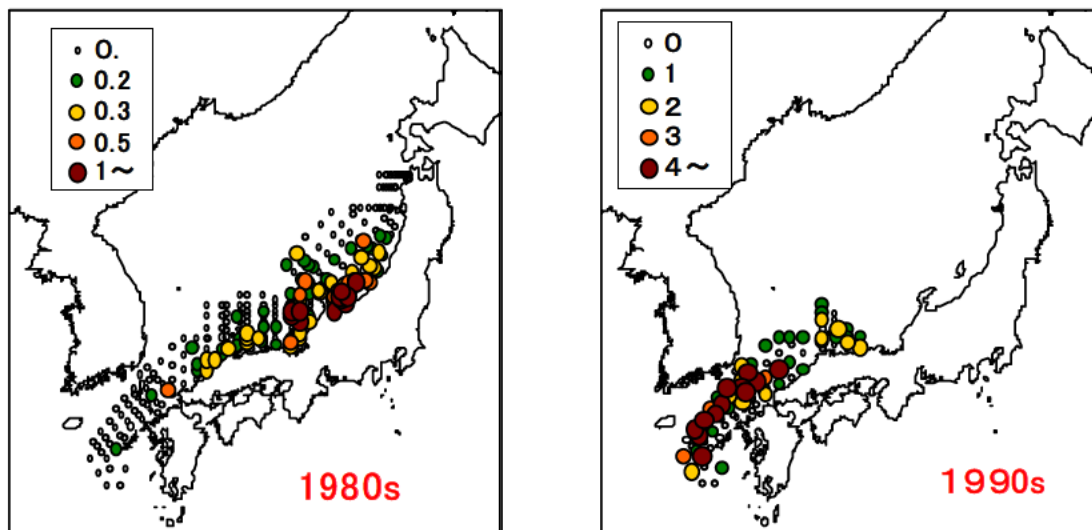


付図4．2002年のスルメイカ幼生の分布状況。
口径45cmによる1網あたりの採集個体数を示す。



付図5．スルメイカ幼生の分布密度の経年変化
口径45cmによる1網あたりの平均採集個体数で示す。

また、これまでの調査結果からスルメイカ幼生の分布海域（産卵場を示している）はスルメイカの資源水準にともない変化することが明らかになっている（Go to 2002）。資源水準が低かった1980年代半ば主に北陸沿岸域がスルメイカ幼生の主分布域であったが、資源が増加に転じた1989年代後半以降は対馬海峡から東シナ海まで幼生の分布域が拡大した（付図6）。このような幼生海域の変化（産卵海域の変化を示す）は海洋環境の変化が関連していると考えられ、スルメイカの幼生の分布域を把握することによって海洋環境がスルメイカ資源によって好適（幼生の分布が対馬海峡付近にある場合）であるか、不適（幼生の分布域が対馬海峡付近にみられない場合）であるかの判断に用いることができる。



付図6．スルメイカ幼生の分布域の変化

左図は資源水準の低かった1980年代の採集結果（1網あたりの採集個体数），右図は資源水準が高くなった1990年代の採集結果（1網あたりの採集個体数）。

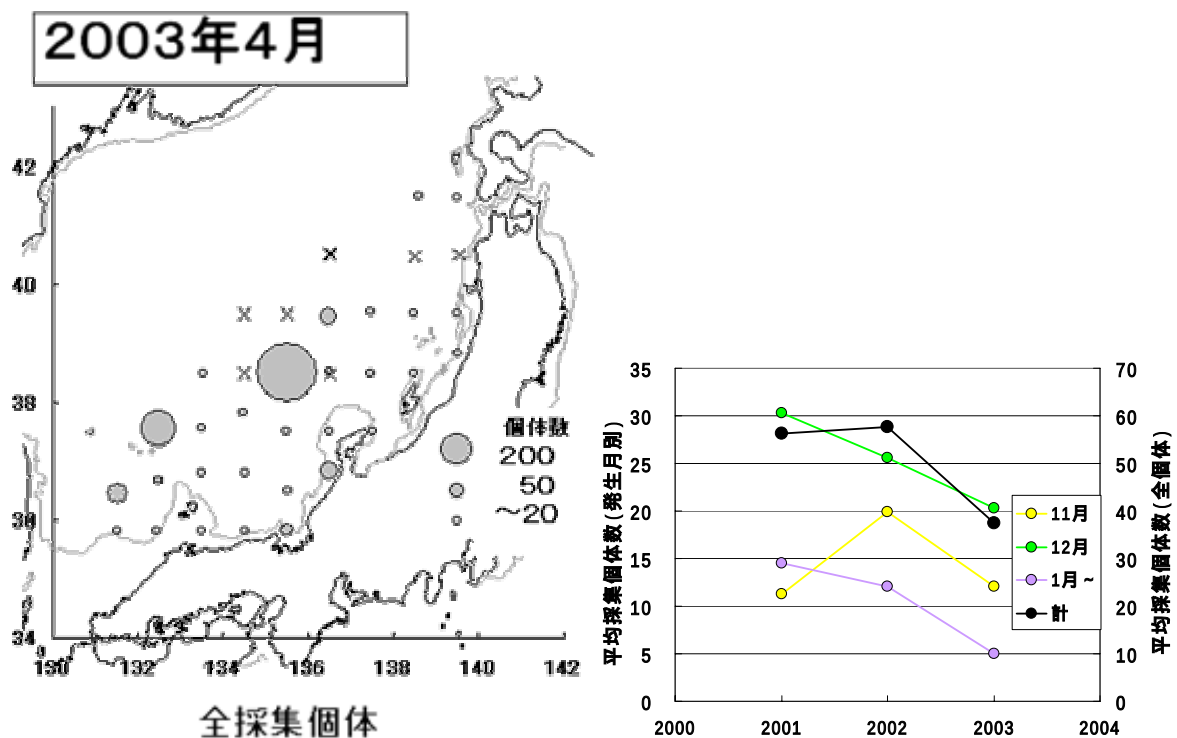
3) 新規加入量調査

新規加入量把握調査

スルメイカは単年性の生物である。そのため、資源が毎年更新し、新規加入群のみがその年の漁獲対象資源となる。さらにスルメイカの幼生から加入までの生残率は環境の影響を受けやすく、年によっては十分な産卵親魚量を確保したにもかかわらず、資源量が大きく減少する場合がある。したがって産卵親魚量による資源量予測に加え、漁期前の調査を基にした精度の高い資源量の予測手法の開発が以前より求められてきた。

そこで表層トロール網（主に網口の直径12mの表層トロール網）を用いて漁期直前にスルメイカの分布量を把握し、資源量予測の調査が2001年より実施されている。調査は、3月および4月の対馬暖流域を対象として実施され、4月には亜寒帯前線域を含む対馬暖流域のほぼ全域が調査対象となっている。

2003年4月の調査結果では、外套背長2～13cmの個体が大和堆を中心に採集され、全調査点の1曳網あたりの平均採集個体数は37.4個体であった（付図7）。この値は、昨年（57.7個体）および一昨年（56.3個体）の約65%であった。特に前年の12月に発生したと推定される外套背長4～9cmの個体の減少が目立った。この調査結果からも2003年の資源水準が2002年よりも低くなること、特に小型個体の分布量が低くなることが予測されていた。



付図7．2003年日本海スルメイカ新規加入量調査結果

左図；採集調査結果による分布状況

右図；各外套背長範囲（推定発生時期で表示）別平均採集個体数の変化

補足資料 1 - 2

資源量および再生産関係の推定方法

スルメイカ秋季発生系群の資源個体数 (N_t) は、漁場一斉調査結果 (補足資料1-1-1) より得られる資源量指数 (U_t) をもとに以下の方法で求めた。

なお、用いた生物学的パラメータ (成長、自然死亡係数) は次の通りである。

成長：スルメイカは孵化後 6 ヶ月以降に加入し、寿命とされる 1 年 (孵化後 12 ヶ月) まで漁獲対象になると仮定した。したがって、資源評価にあたっては、漁獲物の体重を漁獲対象となる期間の中間にあたる孵化後 9 ヶ月の体重 (280 g) として用いた。また、加入時、産卵時の体重も便宜的に 280g として計算した。

自然死亡係数：これまでバイオマス解析 (安達 1988)、標識放流調査 (町中ら 1980) の結果等から推定が試みられているが、妥当な値は得られていない。そこで、以下の計算には月当たりの自然死亡係数 0.1 (加入後 6 ヶ月で 0.6) を仮定値として用いた。

スルメイカ秋季発生系群の資源個体数 (N_t) は、漁場一斉調査結果より得られる資源量指数 (U_t) に比例し、以下のように示されると仮定した。

$$N_t = aU_t \quad (1)$$

ここで N_t は t 年の資源個体数 (億個体)、 U_t は t 年の資源量指数、 a は定数であり、資源量指数に係数 a をかけることで、資源量を計算することができ、さらに 1 個体あたりの体重 (280g) をかけることで、資源量が求まる。

秋季発生系群が主体と考えられる日本海のスルメイカの資源量はこれまでの推定の結果 (日本海区水産研究所 1997; 1998; 谷津ほか 2002)、資源が減少した 1980 年代は約 50 万トン、増大した 1990 年代は 70 ~ 150 万トンの水準と推定され、この間の漁獲率は 0.2 ~ 0.4 の水準にあるとされている。そこで、1980 年代の資源量の平均が 50 万トン、1990 年代の資源量が平均 100 万トン、1979 ~ 2000 年の漁獲率の平均値が 0.3 となるような値 (この場合、1979 ~ 2000 年の平均資源量は 78 万 3 千トン) を妥当と考え、その際の係数 a ($= 2.528 \times 10^8$) を仮定値として用いた。その結果、資源量は図 8 となる。なお、 t 年の漁獲率 (E_t) は以下のように計算した。

$$E_t = \frac{Y_t}{w \cdot N_t} \quad (2)$$

ここで、 Y_t は日本と韓国の t 年におけるスルメイカ秋季発生系群の漁獲量であり、 w は 1 個体あたりの平均体重である。

次に、スルメイカ秋季発生系群の産卵親魚数 (S_t) を下記のように推定した。

$$S_t = N_t \cdot e^{-M_t - F_t} \quad (3)$$

ここで F_t は漁獲死亡係数、 M_t は自然死亡係数であり、 F_t は漁獲量 (Y_t) から (4) 式を満たす値として数値計算より求め、自然死亡係数 M_t は資源量に関係なく 0.6 として計算した。

以上の仮定および方法を用いて 2002 年のスルメイカ秋季発生系群の資源量および 1979 ~ 2001 年の産卵親魚量を推定した。

$$Y_t = \frac{F_t}{F_t + M_t} \cdot (1 - e^{-M_t - F_t}) \cdot N_t \cdot w \quad (4)$$

再生産関係式は、中長期的な海洋環境と加入動向の関係をもとに、近年の良好な加入状況が続く 1990 年以降の産卵親魚と資源個体数の関係を基に推定した (ただし関係式を推定する際、環境の一時的な悪化によって資源が大きく減少したと考えられる 1998 年の値は除いた)。再生産関係は Beverton - Holt 型をモデルとして非線形最小自乗法より下記の様に推定した。再生産関係式と推定した親魚数と資源個体数の関係は図 12 のようになる。

$$N_t = \frac{8.95 S_{t-1}}{1 + 0.128 S_{t-1}} \quad (5)$$

また、再生産関係式 (5) は、(3) 式より S_{t-1} を N_{t-1} で示し、次のように書くことができる。

$$N_t = \frac{8.95 N_{t-1} \cdot e^{-M_{t-1} - F_{t-1}}}{(1 + 0.128 e^{-M_{t-1} - F_{t-1}})} \quad (6)$$

管理基準値となる F_{msy} は、(6) 式を用いて、世代間の資源量 (および漁獲量) が変化しない、 $N_t = N_{t-1}$ の条件を満たす F_t のなかで最大の漁獲量 (MSY) を与える F_t として求めた。なお漁獲量 Y_t は (4) 式を基に計算した。その結果、 F_{msy} は 0.804 と推定され、MSY は 46.1 万トン (この時の資源個体数 38.1 億個体、資源量 107 万トン) と計算された。

また、2003 年の資源個体数は 42.7 億個体 (119 万トン) と推定され、2003 年の漁獲死亡係数として近年 5 カ年の漁獲死亡係数の平均値 (0.339) を用いると、2003 年は産卵親魚として 16.7 億個体 (46.7 万トン) が確保され、(5) 式より 2003 年の資源個体数は 47.6 億個体 (133 万トン) と予測される。

補足資料 1 - 3

管理方策の検証シミュレーションの方法

Beverton - Holt型の再生産関係式をもとに不確実性を考慮してスルメイカの再生産関係を下記のように示した。

$$N_t = \left(\frac{8.95S_{t-1}}{1 + 0.128S_{t-1}} + \varepsilon \right) \cdot \delta \quad (1)$$

ここで N_t は資源個体数， ε は，再生産の過程誤差であり，再生産関係式を観測値の誤差をもとに正規分布（平均0.08，標準偏差9.11）を仮定し、乱数を発生させて与えた。また， δ は短期的な海洋環境の変化による資源量の一時的な減少を示し、15年に1回の割合で資源量が半分になるように与えた（6.7%の確率で0.5をランダムに発生させて与えた）。

また，スルメイカの減少過程を下記のように示し（加入後の自然死亡係数 M_t は資源量に関係なく0.6として計算した）、

$$S_t = N_t \cdot e^{-M_t - F_t} \quad (2)$$

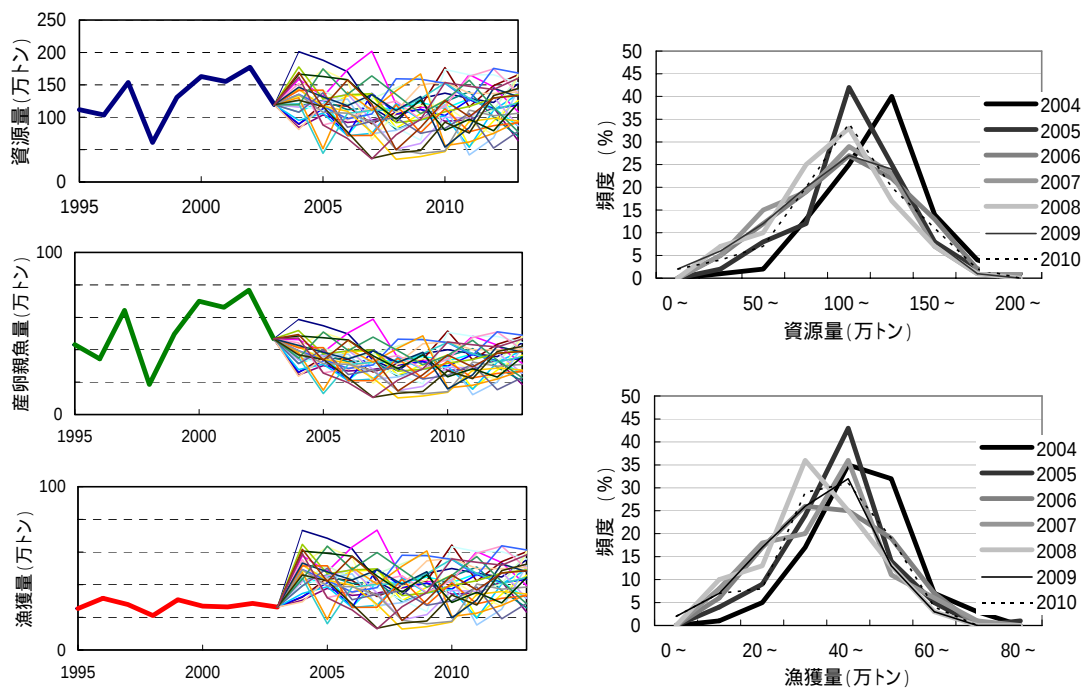
漁獲個体量を下記のように計算した（ w は280gとした）。

$$Y_t = \frac{F_t}{F_t + M_t} \cdot (1 - e^{-M_t - F_t}) \cdot N_t \cdot w \quad (3)$$

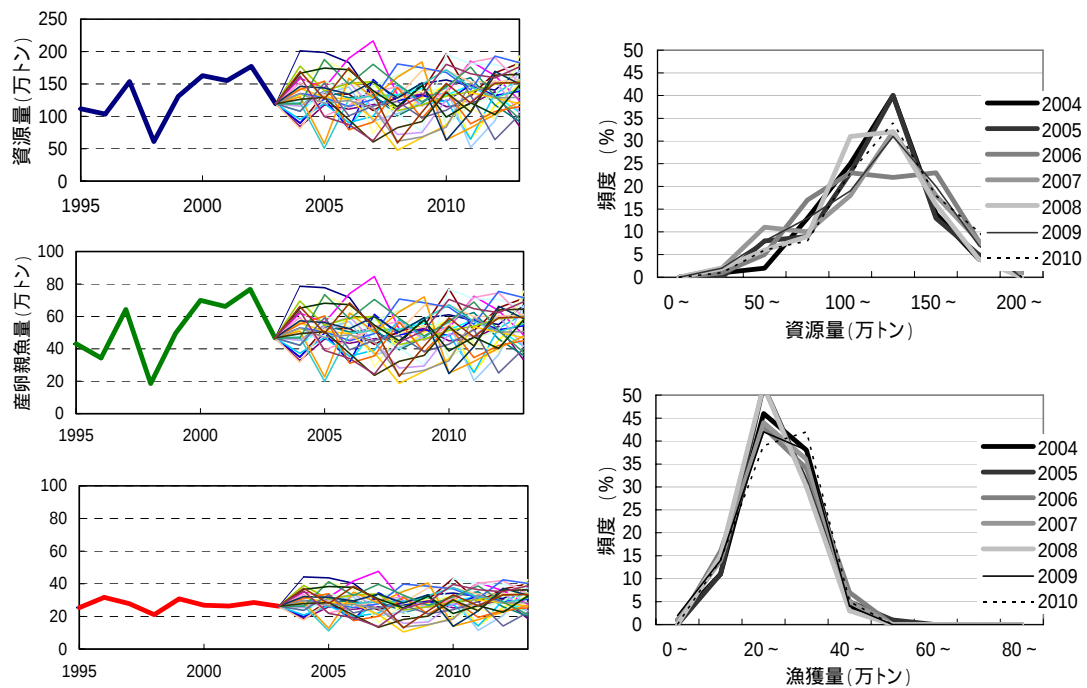
シミュレーションは管理方策とした漁獲係数 F を式（2）と（3）に与えた後、初期値を2003年の資源個体数 N_{2003} としてその後の変化を計算して行った。

計算の手順は、まず初期値の N_{2003} を式（2）に代入し、2003年の産卵親魚個体数 S_{2003} を算出すると共に（3）より2003年の漁獲量を算出した。そして算出した S_{2003} を（1）式に代入することで N_{2004} を求め、 N_{2004} を再び式（2）に代入する手順を繰り返して行った。なお、シミュレーションは2013年までの10年間で100回反復した。なお、資源量および産卵親魚量は資源個体数および産卵親魚個体数に体重 w （全て280gとした）をかけて計算した。

F_{target} および2002年の漁獲係数（ $F=0.238$ ）で漁獲した場合のシミュレーション結果を付図8および付図9に示す。



付図 8 . F target (=0.633) で漁獲した場合の資源量、産卵親魚量、漁獲量のシミュレーション結果．左図は30回反復結果による経年変化，右図は100回反復結果による頻度分布．



付図 9 . 近年 5 年の漁獲係数の平均値 (=0.339) で漁獲した場合の資源量、産卵親魚量、漁獲量のシミュレーション結果左図は30回反復結果による経年変化，右図は100回反復結果による頻度分布．

補足資料 1 - 4

北朝鮮および中国の漁獲による影響

北朝鮮および中国の漁獲状況については不明な点が多いが、北朝鮮と中国の漁獲割合は日本と韓国と比較して小さいと考えられる。そこで、北朝鮮と中国の漁獲量の最大値として日本と韓国の合計値と同水準であることを仮定（中国と北朝鮮を合わせた漁獲係数を 0.3、近年 5 年間の北朝鮮と中国の平均漁獲量を 23 万 6 千トンと仮定）してその影響を試算した。

その結果、推定される MSY は 60.1 万トンであり、中国と北朝鮮を合わせた漁獲係数を 0.3 として求められる F_{msy} は 0.719、ABClimit は 47.5 万トン（我が国 EEZ 内は 21.9 万トン）と推定された。ただし、実際には北朝鮮と中国の漁獲状況は日本と韓国と比較して低いと考えられることから、北朝鮮と中国の漁獲による不確実性の影響はこの推定結果よりもさらに小さいと考える。