

北海道東方沖北西太平洋におけるサンマ *Cololabis saira* の漁期前分布特性

稲川 亮^{*1}, 志田 修²

¹北海道立総合研究機構中央水産試験場,

²北海道立総合研究機構函館水産試験場

Distribution of Pacific saury *Cololabis saira* in the pre-fishing season in the Northwestern Pacific off Hokkaido, Japan

RYO INAGAWA^{*1} and OSAMU SHIDA²

¹ Central Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, *Yoichi, Hokkaido 0465–8555*,

² Hakodate Fisheries Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido 040–0051, Japan*

The results of pre-fishery surveys for Pacific saury *Cololabis saira* fisheries conducted in the Northwestern Pacific off Hokkaido, Japan from 1986 to 2015 are reviewed in this paper. Immature age 1 (1 year old) fish and age 0 (0 year old) fish were distributed in the northeastern and southwestern parts of the survey area, respectively, and mature age 1 fish were found in the southwestern area. There was no correlation between the mean survey CPUEs, neither biomass, total catches, nor fishery CPUEs of stick-held dip net fisheries. However, a significant positive correlation was found between the mean condition factors of age 1 fish collected in the surveys and commercial fishery indices (total catches and fishery CPUEs of stick-held dip net fisheries). Furthermore, there was a significant positive correlation between the proportion of age 1 fish caught by the surveys and stick-held dip net fisheries. In this paper, we discuss the relationship between the indices of the surveys and commercial fisheries, and the origin of mature age 1 fish found in the surveys.

キーワード：夏季産卵群，漁期前分布特性，サンマ，生殖腺重量指数，西方回遊，年齢，肥満度，北海道東方沖北西太平洋

サンマ *Cololabis saira* は、本邦においてTAC対象種に指定されている重要な水産資源であり、棒受網漁業の発達に伴い1950年代に漁獲量が増加した。1956年以降の日本の漁獲量は、年間4万トン（2019年）～58万トン（1958年）に達し（農林水産省（<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003238631>, 2021年1月5日）；全国さんま棒受網漁業協同組合（https://www.samma.jp/tokei/catch_year.html, 2021年1月5日）），その大部分をさんま棒受網漁業が占めている。北海道においては、棒受網漁業以外に小規模ながらさんま流し網漁業が行われており、当初は自由漁業であったが、1993年頃から着業者が急増したため、1997年に北海道知事許可漁業となった（渡野邊, 2004）。

棒受網漁業の漁獲対象となる資源は、日本近海では、春に黒潮水域から北上して、夏には主な摂餌場である親潮

水域に達し（北上期）、秋には親潮水域から日本列島東岸への南下を開始して（南下期）、冬に主な産卵場・育成場である黒潮水域で越冬する（福島, 1979；Kurita, 2006；巢山ら, 2020；Fig. 1）。棒受網漁業の漁場は、このサンマ魚群の季節移動に合わせて、8月は千島列島沖から北海道東部太平洋海域（以降、道東海域と略す）、9月下旬から10月上旬は三陸沖、11～12月の漁期終盤には常磐沖から房総沖に形成される（巢山ら, 2020；Fig. 1）。一方、流し網漁業は7月から道東海域において行われるが、その漁獲物には、夏季に産卵すると思われる個体が含まれること、サンマウオジラミの寄生率が高いことなどから、これらは棒受網漁業の対象となっている群とは異なり、6～8月に三陸沿岸において定置網で漁獲される沿岸北上群（高橋, 2005；長澤, 1984）が起源とされているが（夏目

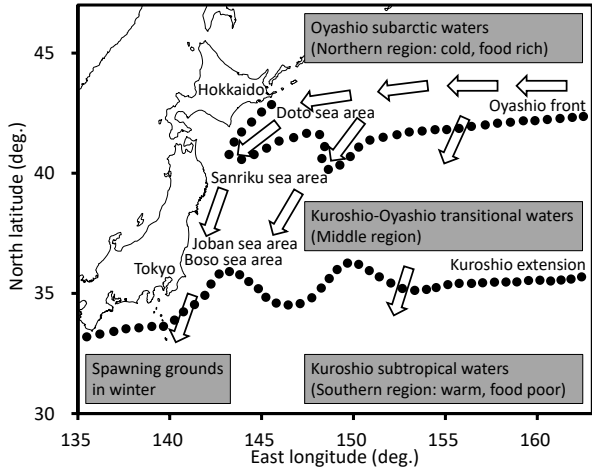


Fig. 1 Fishing grounds of the Pacific saury fisheries of Japan. White arrows indicate the southward migration routes of Pacific saury.

ら, 2009), その分布回遊には不明な点も残されている。

北海道立総合研究機構釧路水産試験場では, 1986年から2015年まで, サンマの漁獲量や漁獲物体長組成などの漁況を予測することを目的として, 漁期前の分布域である北海道東方沖において, 流し網を用いた漁獲試験と海洋観測(以降, 漁期前調査と称す)を実施してきた(例えば稲川, 2015)。本報では, これまで30年にわたって蓄積してきた漁期前調査の結果をレビューし, 日本近海の棒受網漁業の漁場へ来遊する前のサンマの生物学的特徴, 分布, および海洋環境との関係について記載する。また, それらの指標値と, 年齢組成, 資源量, 棒受網漁業の漁獲量, および来遊資源量指数との関係について検討する。さらに, 流し網漁業の対象となっている沿岸北上群の由来とその回遊について考察する。

材料と方法

漁期前調査 調査は1986~2015年の7月に, 釧路水産試験場所属試験調査船である初代北辰丸(219トン, 1968~1989年), 2代目北辰丸(216トン, 1989~2014年), および3代目北辰丸(255トン, 2014年~)により実施した。調査海域は日本近海に来遊するサンマが直前に通過する北海道東方沖とし, 17調査定點(ただし, St. 1~4は1993年以降に追加した)を北緯40度30分~46度30分, 東経149度30分~162度30分の範囲内に, 親潮の流軸方向に沿って設定した(Fig. 2)。サンマの分布とその生息環境の関係を調べるため, 各調査点において, 最大で深度1,000 mまでの水温をCTDにより観測した(1986年: Tsurumi Micom BT, 1987年: Guildline CTD, 1988年: Mechanical BT, 1989年: Niel Brown CTD, 1990~1996年: Niel Brown

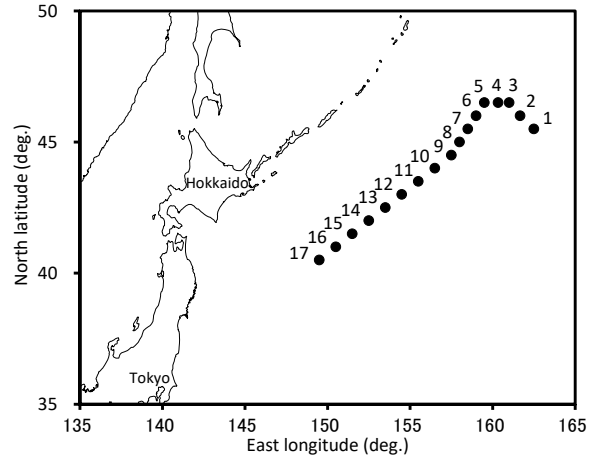


Fig. 2 The pre-fishery survey area and the survey stations.

Mark III, 1997年~: SBE 911 plus)。表面水温は, 海水をバケツにより海面から採取し, 棒状温度計で0.1°C単位まで測定した。観測終了後, 奇数番号の9調査点において, サンマの生物学的特徴と分布密度を把握するため, 流し網による漁獲試験を実施した。使用した流し網は22, 25, 29, 37, 48, 55, 63, 72, および82 mmの目合で構成され, 仕立ては原則としてTable 1に示す通りとした。この構成では, 流し網1反に30間切(25.8 m)と60間切(51.8 m)の2種類が混在する。これを補正するため, 本研究では30間切を基準とし, 60間切の反数を倍にして計算に用いた。これらの目合の他に, 網成りを良くするため, 各目合の間に182 mmの大きい目合の網を入れた。流し網は, 原則として18時に海中へ投網し, 翌朝の4時に揚網した。漁獲されたサンマは, 目合ごとに尾数を計数し, そのうち50尾を上限に生物測定用標本として, 無作為抽出して冷凍し, 実験室に持ち帰った。

本研究では, 調査点の分布密度を表す指標としてCPUE (Catch Per Unit Effort: 1式)を用いた。

$$CPUE = \text{漁獲尾数 (尾)} / \text{流し網の反数 (反)} \dots (1)$$

CPUEの算出には, 調査で漁獲されたサンマのうち, 肉体重長20~40 cmのサンマに対して適合目合とされる目合29, 37, 48 mm(夏目ら, 2009)で漁獲された個体のデータを用いた。なお, 肉体重長は, 下顎吻端から尾鰭肉質部末端までの長さである(木村, 1956)。また, 年を指標するCPUEは, 釧路水産試験場が調査結果の公表に使用した, その年に実施した全調査点のCPUEの平均値とした。**調査漁獲物の生物測定** 測定用標本として持ち帰ったサンマ17,218尾は, 実験室で自然解凍した後に, 肉体重長を0.1 cm単位, 体重および生殖腺重量を0.1 g単位まで測定した。年齢は, 肉体重長から推定した(後述)。これらに加えて, 回遊経路を推定するため, 体表面の肉眼観察によりサンマウオジラミ*Caligus macarovi*の寄生痕の有無を1

Table 1 Constitution of drift-nets used in the pre-fishery survey.

Mesh size (mm)	Number of piece(s) (tan)	Length of a piece (m)	Total length (m)
182	2	51.8	103.6
29	2	25.8	51.6
182	1	51.8	51.8
48	1	51.8	51.8
182	1	51.8	51.8
63	1	51.8	51.8
182	1	51.8	51.8
37	2	25.8	51.6
182	1	51.8	51.8
22	1	25.8	25.8
182	1	51.8	51.8
82	1	51.8	51.8
182	1	51.8	51.8
29	2	25.8	51.6
182	1	51.8	51.8
55	1	51.8	51.8
182	1	51.8	51.8
25	1	25.8	25.8
182	1	51.8	51.8
72	1	51.8	51.8
182	1	51.8	51.8
37	2	25.8	51.6
182	1	51.8	51.8
48	1	51.8	51.8
182	2	51.8	103.6
Total			1,345.8

歳魚について調べ、その個数を計数した。また、渡野邊 (2005) が本調査で得られた1歳魚の肥満度と棒受網漁業の年間漁獲量の間に正の相関が認められることを報告していることから、1歳魚の肥満度 (Condition Factor: 2式) を算出した。さらに、サンマの成熟状態を推定するため、1歳雌魚について生殖腺重量指数 (Gonad Somatic Index: 3式, 以降, GSIと略す) を算出した。

$$\text{肥満度} = \text{体重}(\text{g}) / \text{肉体長}(\text{cm})^3 \times 10^3 \quad \dots (2)$$

$$\text{GSI} = \text{卵巣重量}(\text{g}) / \text{体重}(\text{g}) \times 10^2 \quad \dots (3)$$

雌の成熟度は小坂 (2000) に従い、GSIの値から以下の4段階に区分した。

周辺仁期～卵黄胞前期：GSI 0.4未満

卵黄胞後期～第2次卵黄球期：GSI 0.4以上2.0未満

第3次卵黄球期：GSI 2.0以上4.0未満

成熟期：GSI 4.0以上

産卵が近づいて卵黄形成が始まると、急激にGSIが上昇して2.0以上となることが知られているため (巢山ら, 1996), GSI 2.0以上 (小坂 (2000) による区分の第3次卵黄球期および成熟期) の個体は夏季に産卵する魚と定義

した。

各調査年における肥満度, GSI, およびサンマウオジラムの寄生痕数の平均値は, 調査点ごとの値をCPUEで重み付けして算出した。

漁期前調査で得られた指標値と, 北西太平洋海域におけるサンマ資源量, さんま棒受網漁業の漁獲量, および来遊資源量指数の比較 北西太平洋海域におけるサンマの資源量として, 漁期前調査と同時期に実施された資源量調査により推定された結果を使用した。この資源量調査は, 2003年以降, 水産研究・教育機構が表層トロール網を用いて実施しており, その結果が1区 (東経141～165度), 2区 (東経165～180度), および3区 (西経180～163度) に区分された資源量として公表されている (水産研究・教育機構, 2020)。このうち, 漁期前調査海域が含まれる1区の資源量を漁期前調査のCPUE (以降, 調査CPUEと略す) との比較に用いた。漁況との関係については, 本間 (1998) が本調査で得られた調査CPUEと棒受網漁業の年間漁獲量の間に類似性を報告していることから, 調査CPUEと日本全国の年間漁獲量との比較を行い, さらに, 漁期前調査直後の初漁期における日本近海への来遊量との比較を行った。年間漁獲量は, 全国さんま棒受網漁業協同組合 (https://www.samma.jp/tokei/catch_year.html) の統計資料を用いた。初漁期の来遊量の指標は, 漁業情報サービスセンターが算出したさんま棒受網漁業データに基づく8月の来遊資源量指数 (緯度経度30分目) の漁業CPUEの積算値; 渡邊, 2015; 渡邊, 2016; 渡邊・矢吹, 2017) を用いた。また, 本調査で得られた1歳魚の肥満度についても, 1区の資源量, 日本全国の年間漁獲量, 年間の来遊資源量指数との関係を検討した。

年齢組成 年齢組成は, 下記の通り, 体長組成から推定した。漁期前調査で採集されたサンマの体長組成は, 目合ごとに漁獲された標本の体長組成と抽出率から調査点ごとに算出した。これにより得られた調査点別体長階級の尾数を合算することで, その年の体長組成を算出した。さんま棒受網漁業の漁獲物体長組成は, 漁業情報サービスセンターが運営管理する我が国周辺資源評価情報システムFRESCO (Fishery Resource Conservation) に入力された漁獲物の肉体長データと全国各港水揚量を用いて水産研究・教育機構が推定した組成を用いた。年齢は, 7月における肉体長と年齢の関係 (Suyama *et al.*, 2006) から, 水産研究・教育機構 (2020) に従い, 漁期前の7月は肉体長27 cm以上を1歳魚, それ未満を0歳魚, 漁期中の8月では肉体長29 cm以上を1歳魚, それ未満を0歳魚とした。

結果

漁期前調査における水温観測 1986～2015年の調査で観測された各調査点の表面水温は、7.4～22.1°Cであった。各調査点における平均水温は、北東側のSt. 1～7で8.9～9.7°C、南西側のSt. 9～17で11.1～18.7°Cと北東側の調査点ほど表面水温が低い傾向が認められた (Fig. 3)。また、同一調査点内における年変動は、北東側のSt. 1～7で小さく、南西側のSt. 9～17で大きかった (Fig. 3)。深度300 mまでの水温鉛直分布を見ると (Fig. 4)、北東に位置するSt. 1からSt. 9ないしSt. 11の範囲では、5°Cの等温線が深度50 m付近に分布し、その下層には2～4°Cの水塊が分布した。また、その南西側では5°C等温線が垂直に深度150 m以深まで沈み込む構造が観察された。深度100 mの水温5°Cを親潮の境界とすると、30年の調査のうち27年はSt. 9～11に親潮の先端部が観察され、1991、2005年はSt. 14、2001年はSt. 13とそれより南西に位置していた。

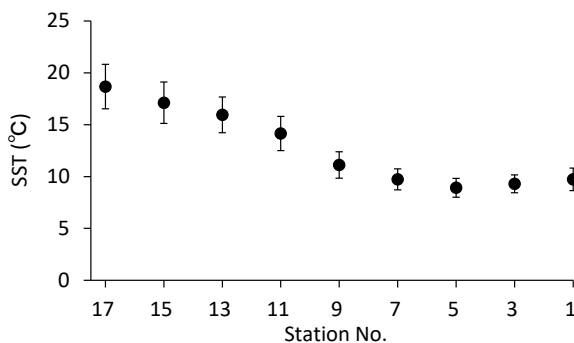


Fig. 3 Mean SSTs (Sea Surface Temperature) observed in the pre-fishery survey. Circles and vertical bars indicate mean values and standard deviations, respectively.

漁期前調査による漁獲試験 漁獲試験により合計100,337尾のサンマが採集され (Table 2)、そのうちCPUEの算出に用いた目合29、37、48 mmによる漁獲は97,532尾 (97%) と大半を占めた。各調査点における年齢別の平均CPUE (尾/反) を見ると、0歳魚は調査海域の中央から南西側に位置するSt. 11～13 (Fig. 5A) で12～18尾/反と高く、1歳魚は中央から北東側の海域に位置するSt. 1～11 (Fig. 5B) で8～29尾/反と高かった。表面水温で見ると、サンマは7.4～22.0°Cの範囲で採集された。年齢別では、0歳魚は13～14°C (Fig. 6A) で15～19尾/反、1歳魚は7～14°C (Fig. 6B) で12～59尾/反と平均CPUEが高く、分布密度の高い分布水温の範囲は1歳魚の方が広く、かつ低い水温帯まで広がっていた。

調査CPUEと表面水温の関係を、年齢別・調査点別に経年変化としてFig. 7に示した。0歳魚は、1986～2015年

Table 2 Numbers of Pacific saury caught in the pre-fishery survey.

Year	St.1	St.3	St.5	St.7	St.9	St.11	St.13	St.15	St.17	Total
1986			931	293	354	297	88	21	381	2,365
1987			42	210	290	3	2	41	26	614
1988			562	1,057	439	449	3,029	247		5,783
1989			273	618	3,473	1,819	1,391	2,472	0	10,046
1990			1,814	987	1,177	1,400	241	104	142	5,865
1991				4,818	4,116	1,782	68	46	0	10,830
1992			0	0	4,978	503	20	648	106	6,255
1993	774	424	2,586	61	361	2,590	154	6		6,956
1994	167	1,228	1,262	2,718	0	2,123	18	1	90	7,607
1995	106	1,310	3	1,017	613	11	102	0	3	3,165
1996	0	0	0	0	0	655	325	9	158	1,147
1997	0	0		51	742	6,082	19	753	6	7,653
1998	391	0	7	280	323		580	0	0	1,581
1999	2	0	0	0	0	2,082	244		0	2,328
2000	0	0	0	1	0	499	0	53	0	553
2001	20	0	0	43	19	1,864	826	9	0	2,781
2002	41	131	0	19	0	21	12	4	1	229
2003	40	172	4	1,008	1,173	346	436	405		3,584
2004	39	0	0	0	15	63	395	33	4	549
2005	329	2,181	12	0	215	259	532			3,528
2006	1	790	2,086	2	170	935	104	22	258	4,368
2007	4	0	1	49	178	153	1,217	1	0	1,603
2008	2	617	3	964	17	4	1	12	2	1,622
2009	524	91	31	193	63	117			11	1,030
2010	55	11	68	6	625	149	0	7	0	921
2011	89	0	0	47	2	122	707	1	6	974
2012	105	0	1	389	0	171	81	13	24	784
2013	0	0	0	1	0	750	97	1	2	851
2014	188	230			1,103	2	1	6		1,530
2015	157	889	1,864	241	31	2	51	0		3,235
Total	3,034	8,074	11,550	15,073	20,477	25,253	10,741	4,915	1,220	100,337

の調査期間を通して、12～15°Cの水温帯が分布するSt. 11～13のCPUEが高かった。1歳魚は、調査期間の前半である1988～1999年は、7～14°Cの分布域であるSt. 11から北東側で広くCPUEの高い点が分布したが、2000年以降はCPUEの高い点が減少し、その分布水温および調査点もばらつきが大きくなった。前述の水塊構造との関係で見ると、0歳魚の分布密度の高かったSt. 11～13は親潮の先端およびそのやや南側に位置しており、1歳魚は1990年代まではSt. 9～11に分布した親潮の先端からその北側の親潮水域で分布密度が高かったが、2000年以降は親潮の先端付近の分布密度が著しく低くなった。また、親潮の先端が例年より南側のSt. 13～14まで南下していた1991、2001、および2005年における1歳魚の分布域は、他の年と大きく変わらずSt. 11より北側にあった。

漁期前調査で採集されたサンマの生物学的特徴 漁期前調査で採集されたサンマの肉体長は12.7～36.2 cmの範囲にあり、体重は6.9～262.0 gの範囲にあった。これらのサンマは、肉体長から判断して0歳魚および1歳魚と考えられた。肉体長-体重関係 (Fig. 8) から推定した成長式は以下の通りである。

$$\text{体重 (g)} = 0.0008 \times \text{肉体長 (cm)}^{3.541}$$

漁期前調査で採集された1歳魚の肥満度は、3.4～7.5の範囲にあった。調査点ごとの平均値を見ると、北東のSt.

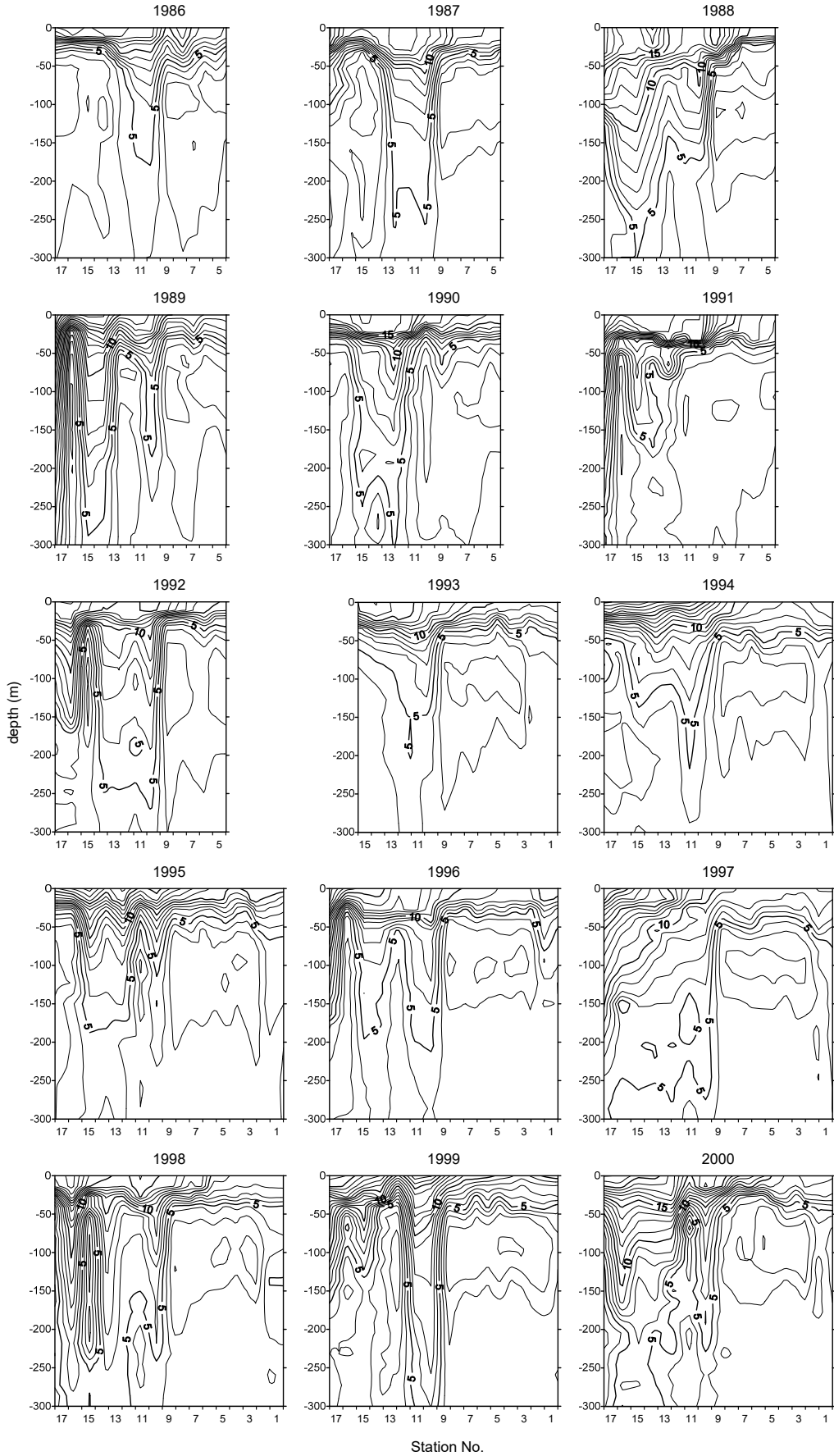


Fig.4 Vertical water temperature profiles in the pre-fishery survey.

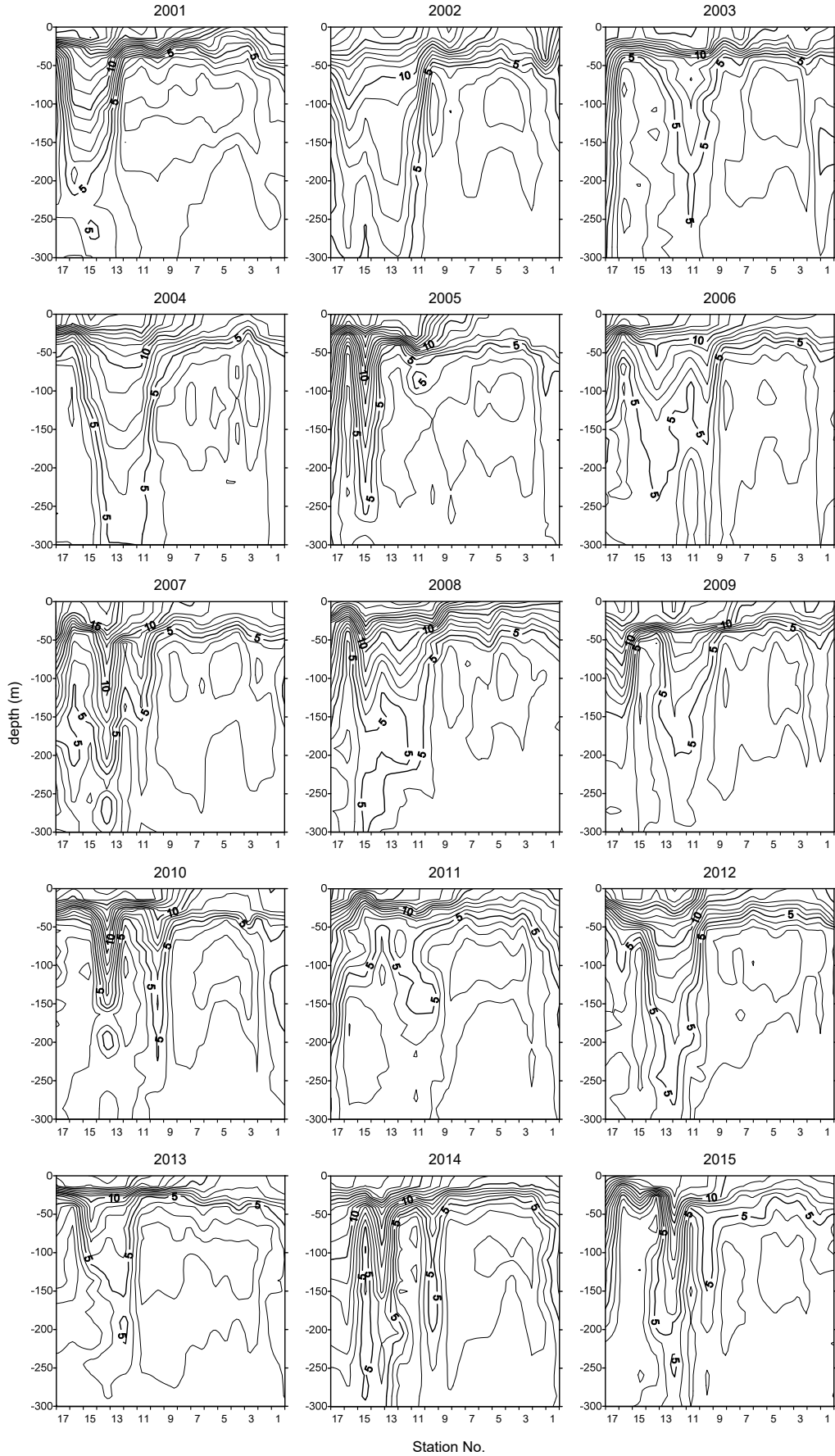


Fig.4 Vertical water temperature profiles in the pre-fishery survey. (continued)

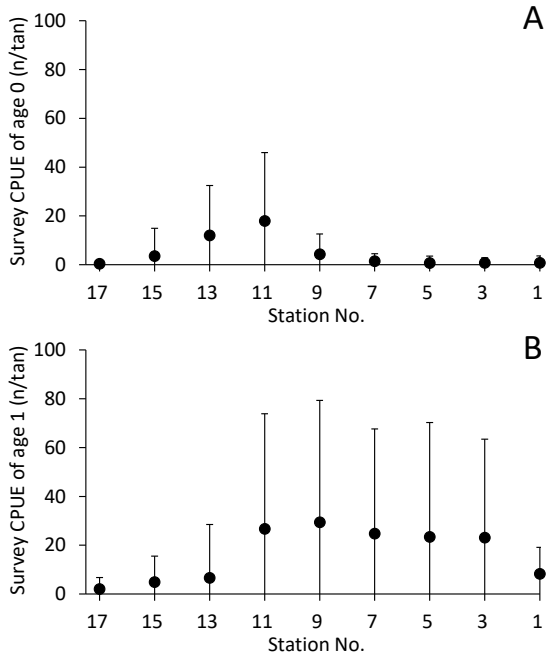


Fig.5 Mean survey CPUEs (Catch Per Unit Effort) of survey stations. Circles and vertical bars indicate mean values and standard deviations, respectively. (A) Age 0 and (B) Age 1.

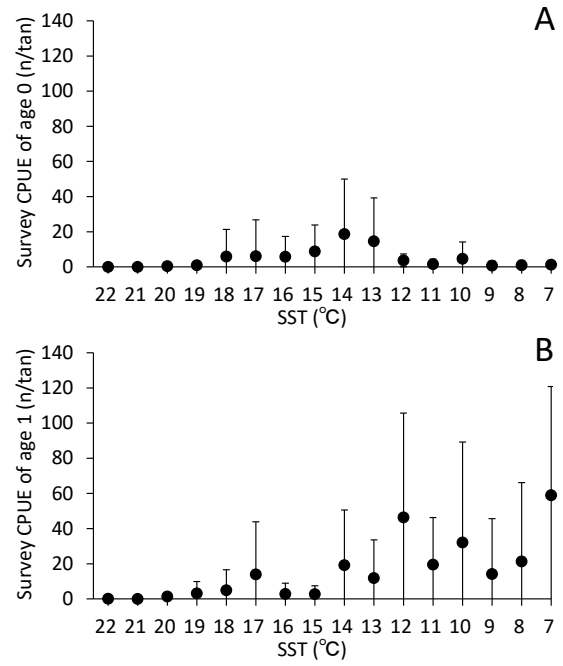


Fig.6 Mean survey CPUEs and SST in the pre-fishery survey. Circles and vertical bars indicate mean values and standard deviations, respectively. (A) Age 0 and (B) Age 1.

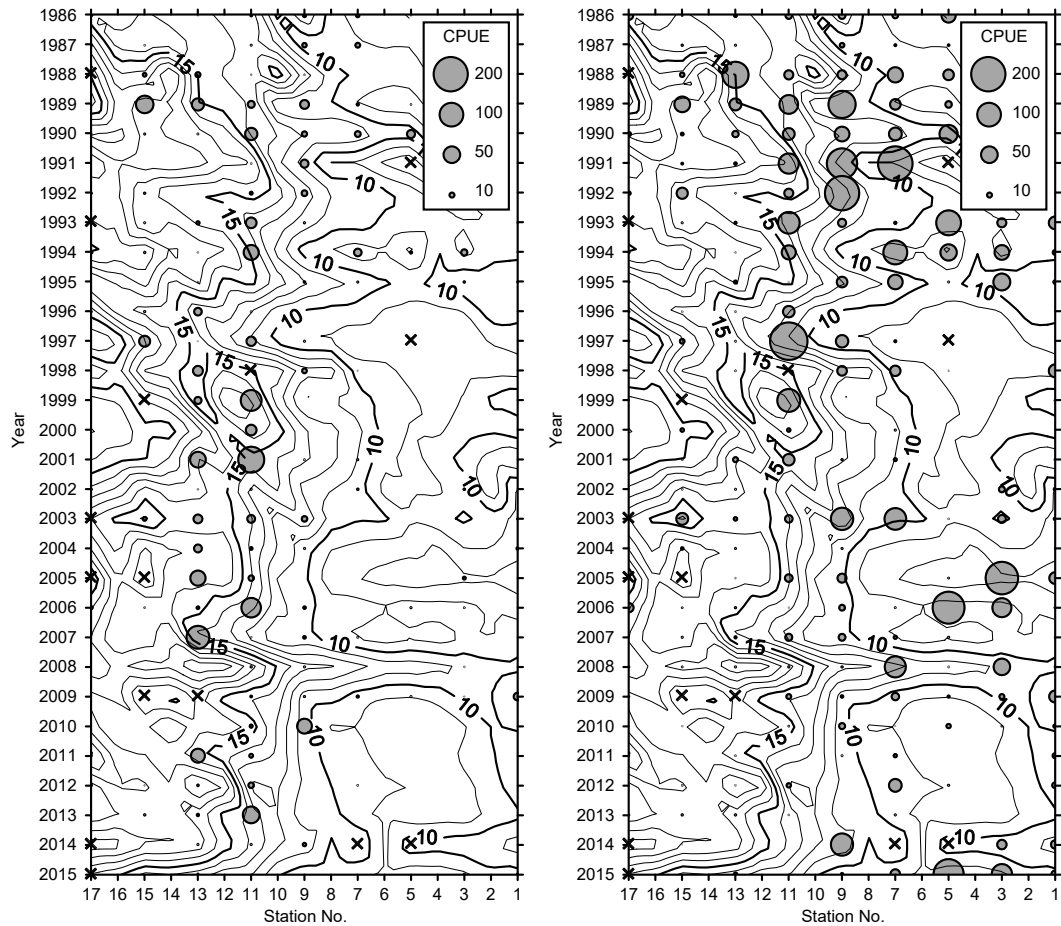


Fig.7 Distribution of survey CPUEs and SST in the pre-fishery survey. X marks indicate missing data. (Left) Age 0 and (Right) Age 1.

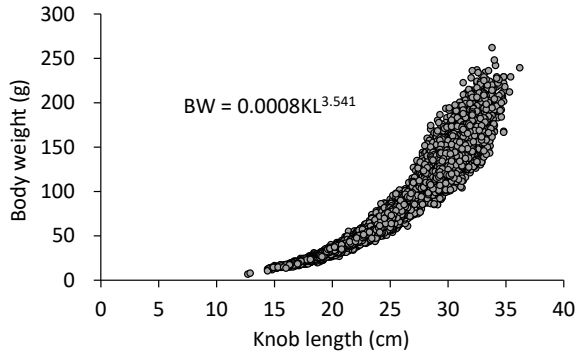


Fig.8 Relationship between knob length and body weight of Pacific saury in the pre-fishery survey. BW and KL indicate body weight and knob length, respectively.

1~11は5.1~5.3と大きな変化が認められなかったが, St. 13~St. 17では調査点が南西に向かうに従って4.7~4.3まで徐々に減少した (Fig. 9A)。

1歳魚の1個体当たりのサンマウオジラミ寄生痕数は, 0~15個の範囲にあった。調査点ごとの平均値を見ると, 北東のSt. 1~11は0.4~0.8と低く, St. 13~17では南西に向かうに従って2.0~4.3まで増加した (Fig. 9B)。

1歳雌魚のGSIは, 0.0~9.3の範囲にあった。調査点ごとの平均値を見ると, St. 1~9はいずれも0.4と低く (Fig. 9C), これらの調査点においては, 採集された全てのサンマがGSI 2.0未満の未成魚であった (Fig. 9D)。一方, St. 11~17では南西に向かうに従って, 夏季に産卵すると考えられるGSI 2.0以上の個体の割合が3.9~56.0%と段階的に増加したことから (Fig. 9D), GSIの平均値は0.5~3.1と大きく増加した (Fig. 9C)。

本調査でGSIが2.0以上の1歳雌魚は286尾採集された。これらの肉体長は28.1~35.5 cm, 肥満度は3.7~6.3, サンマウオジラミの寄生痕数が0~12であった。また, 採集された調査点における表面水温は12.0~20.4°Cであった。St. 11~17で採集された1歳雌魚を, GSI 2.0未満とGSI 2.0以上に分け, 肥満度とサンマウオジラミの寄生痕数の関係をFig. 10に示した。GSI 2.0未満のサンマでは, 肥満度は3.7~6.9の範囲にあり, その平均値±標準偏差は5.2±0.6, 寄生痕数は0~11の範囲にあり, その平均値±標準偏差は0.8±1.6であった。一方, GSI 2.0以上のサンマでは, 肥満度は3.7~5.9の範囲にあり, その平均値±標準偏差は4.4±0.4, 寄生痕数は0~12の範囲にあり, その平均値±標準偏差は2.0±2.5と, GSI 2.0未満のサンマに比べ, 肥満度は有意に低く, 寄生痕数は有意に高かった (ともに $p < 0.05$, Welch's t-test)。さらに, St. 11~17で採集された1歳雌魚について, 表面水温とGSIとの関係をFig. 11Aに, 表面水温とGSI 2.0以上のサンマの出現率との関係をFig. 11Bに示した。12°C以上でGSI 2.0以上のサンマが出

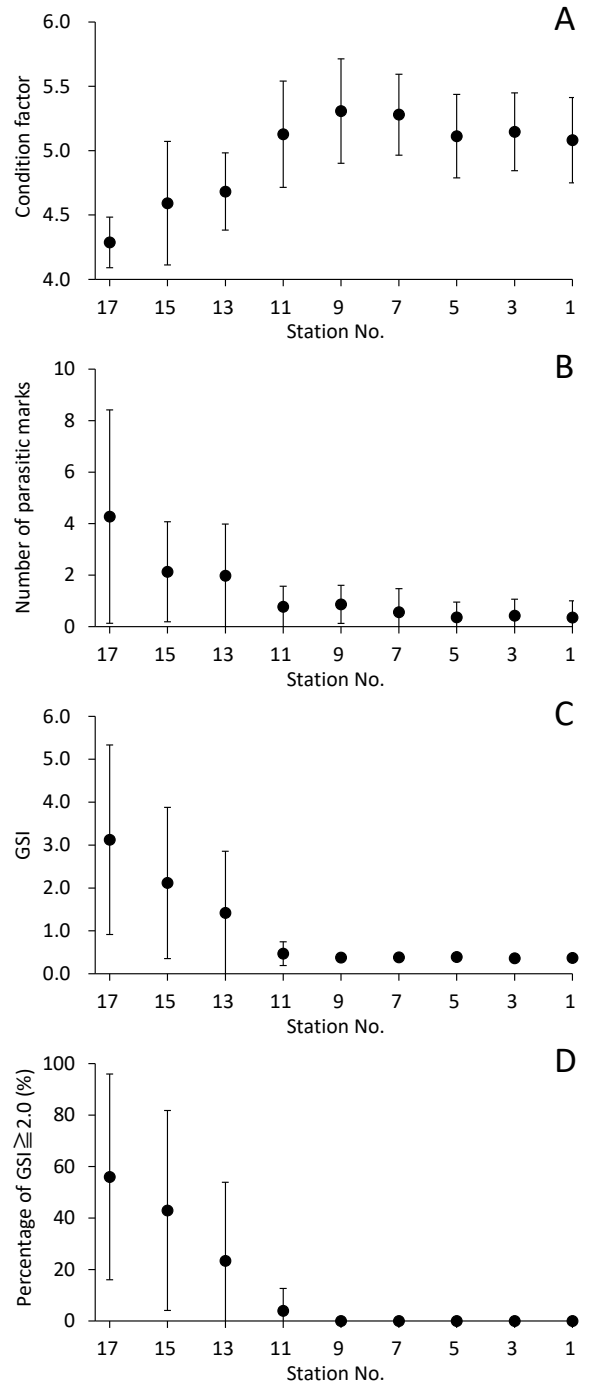


Fig.9 Biological factors of Pacific saury collected in the pre-fishery surveys and survey stations. Circles and vertical bars indicate mean values and standard deviations, respectively. (A) Condition factor of age 1. (B) Number of parasitic marks of age 1. (C) GSI (Gonad somatic index) of female age 1. (D) Percentage of mature female age 1 (GSI \geq 2.0).

現し, 12°Cの2%から20°Cの74%まで, 表面水温が上がるほど, 出現率が上昇する傾向が見られた。

1986~2015年の30年間の調査期間中, 1歳魚の割合は1 (2013年)~100% (2015年)と大きく変動した (Fig. 12A)。

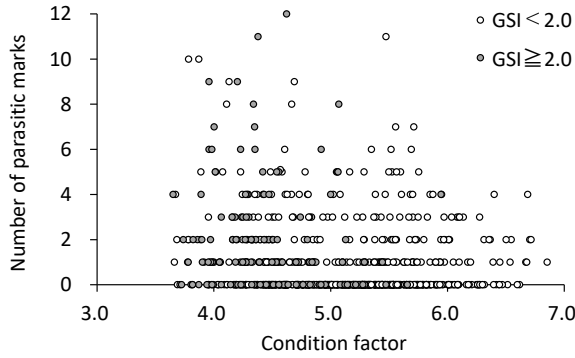


Fig. 10 Relationship between condition factor and number of parasitic marks of female age 1 collected in St. 11-17.

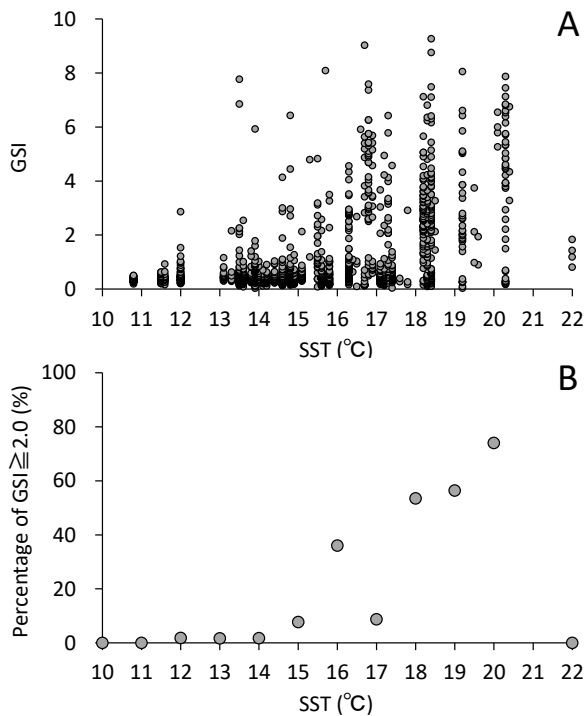


Fig. 11 Relationship between SST and GSI of female age 1, and percentage of mature female age 1 (GSI ≥ 2.0) in St. 11-17.

このうち、2000～2001、2004、2007、2011、2013年の6年は、1歳魚の割合が1（2013年）～23%（2000年）と30%未満で低く、その一方、1986、1988～1995、1997、2002～2003、2005～2006、2008～2009、2012、2014～2015年の19年は、72（1989年）～100%（2015年）と70%以上で高かった。

さんま棒受網漁業（8月）により漁獲されたサンマの特徴 さんま棒受網漁業において、1986～2015年の漁期始めの8月に漁獲されたサンマの肉体長は、14～35 cmの範囲にあった。肉体長から判断して、これらは漁期前調査と同様に0歳魚および1歳魚と考えられた。主な漁獲対象

である1歳魚の漁獲物中に占める割合の経年変化を見ると（Fig. 12A）、13（2000年）～98（1991年）%と、年による変動が非常に大きかった。このうち、1987、1990、1996、1999、2000、2002、2011年の7年は、13（2000年）～24（1996年）%と30%未満で低く、その一方、1989、1991～1994、1997、2003～2005、2008、2010、2014、2015年の13年は70%以上で高かった。これら漁業における1歳魚の割合と、前述の漁期前調査における1歳魚の割合を比較すると（Fig. 12A）、1986、1988、1990、1995、1996、2002、2004、2010および2013年の9年は両者の間に大きな乖離が見られたが、その他の21年は概ね一致し、両者の間に有意な正の相関が認められた（Table 3）。

漁期前調査により得られた各種指標値と資源および漁業との関係 調査CPUEと、資源量（6～7月）、漁獲量（年間）、および来遊資源量指数（8月）の経年変化を比較し、それぞれFig. 12B、Fig. 12C、Fig. 12Dに示した。また、漁期前調査で得た1歳魚の肥満度と、資源量（6～7月）、漁獲量（年間）、および来遊資源量指数（年間）の経年変化を比較し、それぞれFig. 12E、Fig. 12F、Fig. 12Gに示した。

調査CPUE（Fig. 12B、12C、12D）は、1986～2015年の調査期間中、2（2002年）～75（1991年）尾／反の範囲で変動した。1986～1995年の10年間は、1986年の14と低い水準で始まり、1991年の75のピークに達すると、その後は1995年の15まで落ち込んだ。1996～2005年の10年間は、隔年で激しく増減した。2006～2015年の10年間は、2006年の39と比較的高い水準で始まるが、その後は減少して2013年まで低い水準で推移し、以降に2015年の34まで増加した。

漁期前調査で得た各調査年における1歳魚の肥満度（Fig. 12E、12F、12G）は、1986～2015年の調査期間中、4.7（1987年）～5.7（2007年）の範囲で変動し、1992年（5.6）を最大値とする1986（4.7）～1999（4.7）年の増減と、2007年（5.7）を最大値とした2000（4.7）～2015（4.9）年の増減の、2つのピークが見られた。

水産研究・教育機構が6～7月に実施した資源量調査により推定された1区の資源量（Fig. 12B、12E）は、2003～2015年の調査期間中、5（2010年）～317（2004）万トンの範囲で変動した。調査が開始された2003年は166万トンで、翌年の2004年が317万トンでピークとなった。その後は、最低値である2010年の5万トンまで減少し、2011～2015年は80万トン未満で推移した。

全国の通年漁獲量（Fig. 12C、12F）は、1986～2015年の期間中、11（2015年）～34（2008年）万トンの範囲で変動した。1986～1997年は、全国さんま棒受網生産調整組合により臨時休漁措置および漁期の切り上げ等による

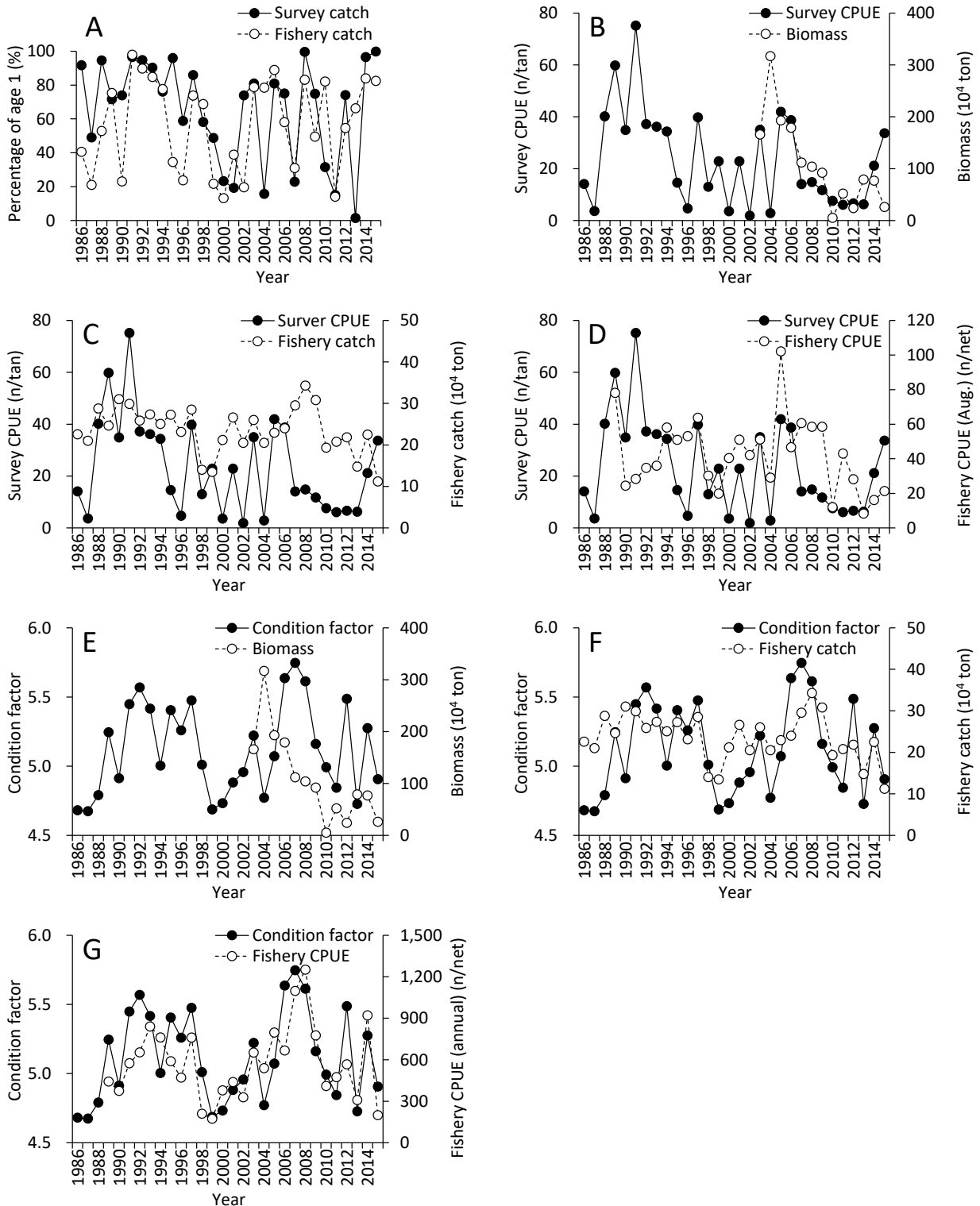


Fig. 12 Inter-annual changes in indices from survey results and commercial fisheries. (A) Percentage of age 1 in the pre-fishery survey catch vs. in the fishery catch. (B) Survey CPUE vs. biomass (Jun-Jul). (C) Survey CPUE vs. fishery catch (annual). (D) Survey CPUE vs. fishery CPUE (Aug.). (E) Condition factor (age 1) vs. Biomass (Jun-Jul). (F) Condition factor (age 1) vs. fishery catch (annual). (G) Condition factor (age 1) vs. Fishery CPUE (annual).

生産調整が行われていたこと等から (須能, 1999), 21 (1987年) ~31 (1990年) 万トンの範囲で安定していたが, その後, 1998年の14万トン, 1999年の13万トンと大きく

減少した。2000~2006年は, 21 (2004年) ~27 (2001) 万トンの範囲で安定していたが, 2007~2009年は, 30 (2007年) ~34 (2008年) 万トンと30万トンを超え, 2008

Table 3 Statistical evaluations of the correlative analysis for indices of the pre-fishery surveys.

	Percentage of age 1 in survey catch vs.	Survey CPUE vs.		Condition factor vs.			
	Percentage of age 1 in fishery catch	Biomass	Fishery catch	Fishery CPUE (Aug.)	Biomass	Fishery catch	Fishery CPUE (Annual)
r	0.42	0.21	0.34	0.27	-0.04	0.55	0.71
p	0.02<0.05	0.49	0.07	0.17	0.90	0.00<0.01	0.00<0.01
n	30	13	30	27	13	30	27

年がピークとなった。2010年には19トンと大きく減少し、その後は23万トン未満で推移して、2015年は11万トンで最低値となった。

8月の来遊資源量指数 (Fig. 12D) は、1989～2015年の期間中、8 (2013年)～102 (2005年) の範囲で変動した。1989年の78から1990年の24にかけて急激に減少し、その後、1997年の64まで緩やかに増加した。1998～2004年は20 (1999年)～51 (2001年) の範囲で推移し、2005年には102と最高値となった。2006～2009年は47 (2006年)～61 (2007年) の範囲で推移し、その後の2010～2015年は低下して、8 (2013年)～43 (2011年) の範囲で推移した。

通年の来遊資源量指数 (Fig. 12G) は、1989～2015年の期間中、174 (1999年)～1,252 (2008年) の範囲で変動し、1993年 (840) を最大値とする1989 (443)～1998 (210) 年の増減と、2008年 (1,252) を最大値とした1999 (174)～2015 (200) 年の増減の、2つのピークが見られた。

漁期前調査で得られたCPUEおよび肥満度と、1区の資源量、全国の漁獲量、および棒受網漁業の日本近海漁場への来遊資源量指数の関係を見ると (Table 3)、漁期前調査CPUEはいずれとも有意な相関は見られなかった。その一方、肥満度は、1区の資源量 (6～7月) とは有意な相関は見られなかったが、全国の漁獲量 (通年)、日本近海への来遊資源量指数 (通年) と有意な正の相関が認められた。

考 察

本研究では、北海道東方沖北西太平洋において実施されたサンマ漁期前調査の30年分のデータを用い、本種の分布水温、年齢、肉体長、体重、肥満度、GSI、サンマウオジラミの寄生痕数を調べて、漁期前のサンマの分布特性・生物学的特徴をとりまとめた。

調査時期の海洋構造とサンマの分布 本研究を実施した7月は、サンマが混合水域を経て親潮水域へと移動回遊する北上期にあたる (福島, 1979)。小坂 (2000) は、北上期に実施した高速ネットによる採集結果から、中小型の成魚 (体長20.0～26.9 cm:本研究の0歳魚に相当) の一部

と成魚 (27.0 cm以上:本研究の1歳魚に相当) が表面水温9°Cを指標とする親潮前線を超えて北側に分布することを報告している。また、福島 (1979) は、7月に入ると黒潮勢力の急激な増大に伴って、サンマの北方移動が急速となって親潮域に入ること、この過程で魚体の大小による南北の序列が明瞭となり、大きいものがより北方に分布するようになると述べている。本研究においても、30年の調査期間を通じて、1歳魚は親潮の先端から親潮域まで、0歳魚は親潮の先端およびその南側に分布することが観察され (Fig. 4, 7)、このような分布様式が長期間にわたって大きく変化していないことが明らかとなった。中神ほか (2013) は、本調査より広い海域において2000年代から開始された水産教育・研究機構の調査結果から、0, 1歳魚とも表面水温15°C以上での分布密度は低かったこと、年齢別にみると、1歳魚は低水温帯域では8°Cから出現して12°C台で最も密度が高く、0歳魚は8°C台では密度が低く、9～14°Cで高かったことを報告している。また、年齢による違いとして、10°C台以下では1歳魚の密度が高く、それ以上では0歳魚の密度が高いことを指摘している。これらの水温と年齢別分布の関係は本研究と概ね一致しており、年齢と分布水温の関係も調査期間を通じて大きな変動がなかったと考えられる。ただし、1歳魚に関しては2000年代以降親潮の先端域にあたるSt. 9～11における分布密度が低くなっており、より北方で本道沿岸により遠い東側の水域に偏って分布する変化が観察された (Fig. 4, 7)。年齢による分布の相違については、中神・巢山 (2006) は、肉体長150 mmを超えるサンマにとって移行域 (混合水域) は栄養蓄積するのに十分な餌料環境ではなく、餌条件の良好な親潮域の方が栄養蓄積には有利と考えられることから、体サイズによる南北方向の分布の違いが餌料環境と遊泳能力によると考察している。本研究でも、親潮域にあるSt. 1～11における肥満度が高く、それより南西に位置する調査点で肥満度が減少しており (Fig. 9A)、中神・巢山 (2006) の考察を裏付ける結果であった。

漁期前調査で得られた指標値と漁況 漁期前調査は、漁獲量や漁獲物体長組成などの漁況予測を目的として実施された。しかし、調査CPUEと、資源量、漁獲量、および漁期はじめの漁場への来遊量を示すと考えられる8月

の来遊資源量指数との間には、有意な相関が認められなかった。その理由として、サンマは西経域までの広い範囲に分布するが (Suyama *et al.*, 2012), 漁期前調査の調査範囲がこの時期における分布の西端にあり、かつ海域全体の分布量推定には調査点数も少なすぎたことが考えられる。また、2010年代は漁期前調査を実施した海域におけるサンマの漁期前分布量が急激に減少したことが報告されており (巢山ら, 2020), 調査海域が主要な分布域を含まなくなったために、漁獲の主体となる群れの大きさを捉えることができなくなったことも、一因として挙げられる。これらに加えて、本研究においては、漁獲の主対象である1歳魚のCPUEの高い調査点が、2000年以前では漁期前調査海域の北東側半分の比較的広い範囲で観測されていたが、それ以降では北東側に縮小した。そのため、2000年以降はまとまった漁獲があった調査点が少なくなり、それらの値が平均値に大きな影響を与えて推定誤差が大きくなったことが可能性として考えられる。本間 (1998) は、1986~1996年の漁期前調査における平均CPUEと全国の年間漁獲量の増減傾向に類似性があることを指摘したが、これらの要因により、調査CPUEと漁獲量や来遊資源量指数との間に関連性が見られなくなったと推察される。

漁期前調査で採集されたサンマ1歳魚の肥満度と、年間漁獲量および年間の来遊資源量指数との間には、有意な正の相関が認められた。渡野邊 (2005) は、1990~2003年の漁期前調査結果を用いた解析で同様の関係を見出し、この指標値を用いた漁獲量予測の可能性を示した。漁獲量については、結果で述べたとおり生産調整が行われたり (須能ら, 1999), 1997年以降はTACによる漁獲量の制限が設けられていることなどから、分布量の以外の人為的な要因の影響が強く反映された年があったと推測される。一方、谷津ら (2019) は、2010年代の漁期前における資源量と漁獲量との間には有意な正の相関が認められること、長期的には棒受網漁業のCPUEと漁獲量との間にも類似した経年変動が見られることを述べている。そこで、本研究では漁況予測の最も重要な項目である漁獲量についても解析に加えて検討し、肥満度については来遊資源量指数だけでなく、漁獲量との間にも相関があることを確認した。これにより、調査海域における分布量の減少と分布の偏りが顕著となった2000年代および2010年代においても、漁況予測における肥満度の有効性を示すことができた。谷津ら (2019) は、秋季に漁獲されたサンマ1歳魚の粗脂肪含量と来遊量との間に有意な正の相関があることを示し、サンマの日本近海への来遊は、漁期直前の資源量、海況、漁場における1歳魚の割合だけでなく、栄養状態にも依存すること、即ち8月に栄養状態が

良い個体は、早期に日本近海への来遊を開始するため、その年の総来遊量は増加するという仮説を提唱している。本研究は、この仮説を強く支持する結果となった。

漁期前調査の1歳魚の割合と、初漁期である8月の棒受網漁業の1歳魚の割合に年変動があり、両者の間には有意な正の相関が認められた。水産教育・研究機構による資源量調査においても、日本近海から西経177度以西海域に分布するサンマの1歳魚の割合が高い年は、その後の棒受網漁業の漁獲物でも1歳魚の割合も高くなることが報告されており (水産総合研究センター, 2015), 本研究の結果と一致する。北上期の北西太平洋海域では、0歳魚は東側の海域で、1歳魚は西側の海域で、分布割合が高くなること (中神ら, 2013), さらに、0歳魚は東西に大きく回遊せず、1歳魚は6月以降に西方回遊することが知られている (Suyama *et al.*, 2012; Suyama *et al.*, 2019)。また、南下期には日本近海に近い魚群から順次、漁場に参加してくとされている (水産総合研究センター, 2015)。従って、漁期前調査で観察された1歳魚の割合の年変動は、資源量の年変動と、このような年齢による分布および回遊の違いを反映していると推察される。7月の漁期前調査における1歳魚の割合と8月の初漁期の漁獲物に占める1歳魚の割合との間に有意な正の相関が認められたことは、これらを強く支持する結果と考えられる。本研究では、30年のうち9年間で漁期前調査とその後の初漁期との間で1歳魚の割合の乖離が大きく、このうち、前半 (1986, 1988, 1990, 1995, 1996, 2002年) では初漁期より漁期前調査で割合が高く、後半 (2004, 2010, 2013年) はその逆であった (Fig. 12A)。この乖離の傾向が変化した時期は、漁期前調査海域における1歳魚の分布が北東側に縮小し、まとまった漁獲が少なくなった2000年頃に一致する (Fig. 7)。本研究の結果からは、乖離が生じる原因について明らかにできなかったが、年代による北上期の分布様式の変化が影響している可能性が考えられた。

漁期前調査で採集された夏季産卵群の生活史 サンマの産卵は冬季が中心であるが (Watanabe and Lo, 1988), 夏季にも表面水温13°C以上の海域で産卵する個体が確認されている (目黒ら, 1987; 巢山ら, 1996; Kurita, 2006)。また、巢山 (2013) は、サンマの水槽飼育実験において、時期に関係なく、飼育水温を13°C以上とすることで産卵が開始されることを確認している。本研究では、低密度ではあるものの、調査海域の南西側に位置する表面水温12°C以上の調査点において、夏季に産卵すると考えられるGSI 2.0以上の1歳雌魚が採集され、その出現率は、表面水温が12°Cから20°Cへ上がるのに伴い上昇した (Fig. 11)。この観察結果は、Kurita (2006) が報告した、5~7月に表面水温が13°Cを超える海域で産卵個体が確

認され、表面水温が上がるほど出現率が上昇し、18°Cを超えるとほとんどが産卵することに概ね一致する。本研究で、夏季産卵個体は、肥満度が低く、サンマウオジラミによる寄生痕が多いことで特徴付けられた (Fig. 10)。高水温域に多いサンマウオジラミはサンマに寄生して体重を減少させること (堀田, 1962; Nishimura, 1964) から、これらの夏季産卵個体は、低温で餌の豊富な親潮域まで北上せず、その途中で成熟の為にエネルギーを使い、さらにサンマウオジラミに寄生されることで痩せたと考えられる。この夏季産卵個体の特徴は、夏目ら (2009) が言及した、夏季に道東沖で行われるさんま流し網漁業の漁獲物の特徴に良く一致する。夏目ら (2009) は、これらが本州沿岸の常磐海域から、三陸海域を経て、道東海域に北上し、沿岸北上群として漁獲されるとしたが、それ以前の回遊については言及していない。Kurita (2006) は、サンマが冬季の産卵場である本州南部海域から黒潮続流によって東方沖合へ移動し、その途中、北上期に様々な経度で北上することを示している。さらに、すべての成熟したサンマが最終的には親潮海域へ北上するが、それまでの間、それより南で産卵を継続するものと、早期に産卵をやめて親潮海域へ北上するものがあることを示した。一方、サンマの寿命は2年であることが知られている (Suyama *et al.*, 2006) が、初回成熟は孵化後1年頃に起

きる (Suyama *et al.*, 2019)。初回成熟による産卵後も死亡することなく、その半年後も再び産卵することなどから、孵化時期が異なる魚群同士も交雑して遺伝的に隔離されないと考えられている (巢山ら, 1996)。これらのことを考慮し、サンマの主産卵期である冬季に生まれた魚群の生活史を模式的に Fig. 13 に示した。①冬季に生まれた0歳魚は、秋季に本州沿岸を南下し、②冬季に本州南部海域に到達して1歳魚となり、その一部は産卵する。産卵後、春季に再び北上するが、その際に③本州沿岸を通るもの (Coastal northward school) と、③'沖合を北上するもの (Other northward school) がある。④これらはいずれも、夏季に餌の豊富な北海道東方沖およびさらに北東の親潮海域まで到達して摂餌するが、その途中、一部の個体はそれより南の13°C以上の高水温域で産卵する。⑤秋季になると本州沿岸を南下する。⑥冬季に本州南部海域に到達して産卵し、寿命を迎えて死亡する。このような生活史を有することにより、サンマは東西に広がる分布を維持し、様々な季節に生まれた個体同士が交雑して遺伝的に均一化されやすい構造となっていると考えられる。このことは、本種が北太平洋に広く分布し、遺伝的変異が非常に小さいとした Chow *et al.* (2009) の報告と矛盾しない。この生活史において、沿岸北上群 (夏目ら, 2009) は Fig. 13 の③の魚群に相当し、道東海域でさんま流し網

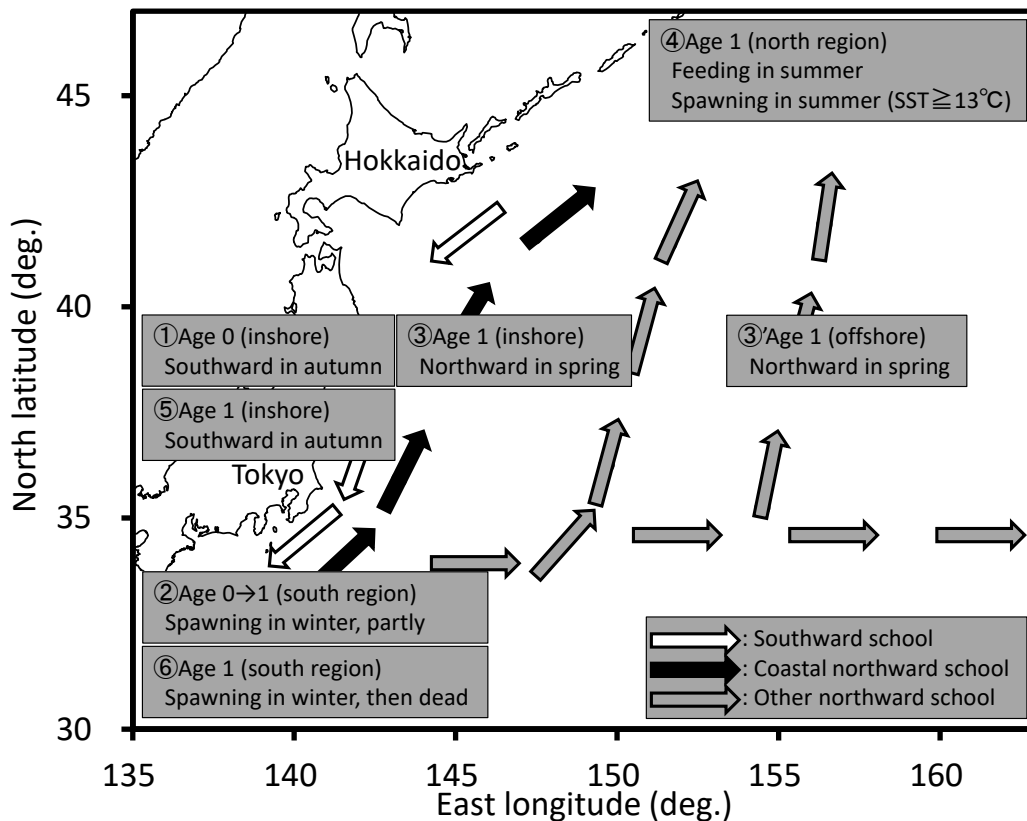


Fig. 13 Estimated seasonal migration routes and life history of Pacific saury born in winter in adjacent waters of Japan.

漁業により漁獲されていると考えられる。従って、これらは、北西太平洋に広く分布する群の一部であり、他の群とは回遊経路は異なるものの、遺伝的に隔離された群ではないと考えられる。中神ら (2011) は、サンマは南下期の秋季から冬春季に日本近海から東方へ分布を変え、それには東方への流れ (黒潮および黒潮続流) の強弱などが影響すると推察している。これらのことから、道東海域でさんま流し網漁業の対象となる沿岸北上群の道東への来遊量は、冬季に主産卵場である本州南部海域に到達した来遊量と、本州沿岸を北上しやすい海況が形成されるか否かに強く影響されて変動し、それが近年の当該漁業による漁獲量減少の要因になっていると考えられる。

前述のように、北西太平洋海域においては、2003年から水産研究・教育機構が大型の表層トロール網を用い、本研究の調査海域を含む広域の資源量調査を行っている。この調査から、日本に来遊するサンマ資源の分布域をカバーする広域の海洋環境およびサンマの生物学的特性などのデータが収集されるようになり、サンマ資源の評価および各種の漁況予測にはこれらが主として利用されるようになってきている。そこで、水産研究・教育機構による広域調査が開始されてから10年以上が経過し、両調査のデータの比較も可能となった2015年をもって、流し網を用いた漁期前調査は終了することとなった。本研究では、1986~2015年の30年間にわたる漁期前調査の結果をとりまとめた。サンマ資源は2010年以降急激に減少し (巢山ら, 2020)、近年、漁獲量も大幅に減少しており (巢山ら, 2020)、その要因について明らかにすることが急務である。資源減少以前の海洋環境やサンマの分布との関係などは、資源減少要因を検討する上で非常に重要であることから、本研究の結果がその一助になると考えられる。

謝 辞

本研究では、釧路水産試験場においてサンマ研究を担当した今井義弘氏、本間隆之氏、渡野邊雅道氏、夏目雅史氏、三橋正基氏が収集したデータを使用した。ここに氏名を記載し、深く感謝の念を表す。また、標本採集への多大な協力、調査船の安全な運航、およびデータ収集方法への有益なアドバイスを賜った歴代の釧路水産試験場試験調査船北辰丸の船長ならびに乗組員諸氏に厚く御礼を申し上げます。データの分析・解釈については、サンマ等小型浮魚資源研究会議等にて、水産研究・教育機構、漁業情報サービスセンター、各県、およびその他関係機関の諸氏から、有益な助言をいただいた。また、北海道立総合研究機構水産研究本部の諸氏には、有益な討論と様々な配慮をしていただいた。深く御礼申し上げます。

本研究の一部は、水産庁委託「我が国周辺水域資源評価等推進事業」の一環として行われた。

引用文献

- Chow S, Suzuki N, Brodeur RD, Ueno Y. Little population structure and recent evolution of the Pacific saury (*Cololabis saira*) as indicated by mitochondrial and nuclear DNA sequence data. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2009; 369: 17-21.
- 福島信一. 北西太平洋系サンマの回遊機構の綜観的解析. 東北区水産研究所研究報告 1979; 41: 1-70.
- 本間隆之. 北上期におけるサンマ魚群分布の経年変化. 第46回サンマ資源研究会議報告1998; 46: 263-269.
- 堀田秀之. サンマウオジラミ (*Caligus macarovi* GUSSEV) によるサンマの皮膚寄生虫病. 東北海区水産研究所研究報告 1962; 21: 50-56.
- 稲川 亮. 北辰丸によるサンマ漁期前調査について. 第63回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告 2015; 63: 228-231.
- 木村喜之助. 標準体長として測るべき魚体の部位に就いて. 東北海区水産研究所研究報告 1956; 7: 1-11.
- 小坂 淳. 北西太平洋におけるサンマの生活史とそれにもとづく資源変動の考察. 東北区水産研究所研究報告 2000; 63: 1-95.
- Kurita Y. Regional and interannual variations in spawning activity of Pacific saury *Cololabis saira* during northward migration in spring in the north-western Pacific. *J. Fish Biol.* 2006; 69: 846-859.
- 目黒敏美, 安間 元, 梶原善之, 山口秀一, 山本昭一, 島崎健二. 北西太平洋におけるサンマの南北分布. 北海道大學水産學部研究彙報 1987; 38: 126-138.
- 長澤和也. 1983年に問題となったサンマヒジキムシについて. 北水試月報 1984; 41: 221-236.
- 中神正康, 巢山 哲. 北上期におけるサンマの撰餌について. 第54回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告 2006; 54: 269-272.
- 中神正康, 巢山 哲, 納谷美也子, 上野康弘. 北西太平洋におけるサンマの分布と近年の資源動向. *海洋と生物* 2011; 192: 30-36.
- 中神正康, 巢山 哲, 納谷美也子, 上野康弘. 漁期前調査結果によるサンマの年齢別分布. 第61回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告 2013; 61: 266-268.
- 夏目雅史, 森 泰雄, 辻 浩司. 北海道東部太平洋で夏期にさんま流し網漁業により漁獲されるサンマの来遊起源について. 北海道立水産試験場研究報告

- 2009 ; 74 : 1-11.
- Nishimura S. Preliminary note on the so-called "louse-bit" saury in the Japan Sea. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* 1964 ; 12 : 295-305.
- 水産研究・教育機構. 令和2年度サンマ長期漁海況予報 2020. Internet web. Download from: (<http://tnfri.fra.affrc.go.jp/press/r2/20200731/20200731sanmayohou.pdf>) (2021.1.5)
- 水産総合研究センター. 平成27年度北西太平洋サンマ長期漁海況予報 2015. Internet web. Download from: (<https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr27/20150731/20150731.pdf>) (2021.1.29)
- 須能紀之, 横須賀 功, 杉山豊樹. 1998年親潮第2分枝域で発見されたサンマ魚群について(短報). 茨城県水試試験場研究報告1999 ; 37 : 189-190.
- 巢山 哲. 飼育下におけるサンマの産卵生態. 「漁業資源の繁殖特性研究 飼育実験とバイオロギングの活用(日本水産学会監修 栗田 豊・河邊 玲・松山倫也編)」恒星社厚生閣, 東京. 2013 ; 92-106.
- Suyama S, Nakagami M, Naya M, Ueno Y. Comparison of the growth of age-1 Pacific saury *Cololabis saira* in the Western and the Central North Pacific. *Fish. Sci.* 2012 ; 78 : 277-285.
- Suyama S, Ozawa H, Shibata Y, Fuji T, Nakagami M, Shimizu A. Geographical variation in spawning histories of age-1 Pacific saury *Cololabis saira* in the North Pacific Ocean during June and July. *Fish. Sci.* 2019 ; 85 : 495-507.
- Suyama S, Kurita Y, Ueno Y. Age structure of Pacific saury *Cololabis saira* based on observations of the hyaline zones in the otolith and length frequency distributions. *Fish. Sci.* 2006 ; 72 : 742-749.
- 巢山 哲, 宮本洋臣, 阿保純一, 納谷美也子, 大島和浩, 富士泰期, 橋本 緑, 中山新一朗. 令和元年度国際漁業資源の現況 サンマ北太平洋 (*Pacific Saury, Cololabis saira*) 2020. Internet web. Download from: (http://kokushi.fra.go.jp/R01/R01_76_SAP.pdf) (2020.1.4)
- 巢山 哲, 桜井泰憲, 島崎健二. 夏季の中部北太平洋におけるサンマの成熟と日齢. 日本水産学会誌 1996 ; 62 : 361-369.
- 高橋憲明. 岩手県定置網におけるサンマの漁獲について. 第53回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告 2005 ; 53 : 192-194.
- 渡邊一功. 2013年8月北西太平洋サンマ長期漁況予報の予測の検証. 第63回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告 2015 ; 63 : 170-171.
- 渡邊一功. 2014年8月北西太平洋サンマ長期漁況予報の予測の検証. 第64回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告 2016 ; 64 : 165-167.
- 渡邊一功, 矢吹 崇. 各機関調査結果(6) 一般社団法人漁業情報サービスセンター. 第65回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告 2017 ; 65 : 45-59.
- Watanabe Y, Lo NCH. Larval production and mortality of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the Northwestern Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 1988 ; 78 : 601-613.
- 渡野邊雅道. さんま流し網漁業の紹介とその漁況予測. 第52回サンマ資源研究会議報告 2004 ; 52 : 261-264.
- 渡野邊雅道. 漁期前調査で漁獲されたサンマの肥満度の経年変化と肥満度を用いた漁況予測の可能性. 第53回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告 2005 ; 53 : 207-209.
- 谷津明彦, 高橋清孝, 渡邊一功, 本田 修. 2012-2017年秋季の北日本近海におけるサンマ大型魚の可食部の粗脂肪含量と来遊量の経年変動. 水産海洋研究 2019 ; 83 : 75-86.