

東北海域における動物プランクトンの動態と長期変動に関する研究

誌名	東北区水産研究所研究報告 = Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory
ISSN	0049402X
著者名	小達,和子
発行元	東北区水産研究所
巻/号	56号
掲載ページ	p. 115-173
発行年月	1994年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



東北海域における動物プランクトンの動態と 長期変動に関する研究*

小達 和子

Zooplankton Biomass and its Long-Term Variation in the Western North Pacific Ocean, Tohoku Sea Area, JAPAN

Kazuko ODATE

Abstract The sea area of the western North Pacific Ocean off the northeastern part of Japan is called the Tohoku Sea Area. The hydrography of the sea area is complicated by influences of the Kuroshio Extension, the Oyashio Water, and the Tsugaru Warm Water systems. The sea area is one of the most productive fishery grounds in the world. The present study aims to reveal long-term variations of zooplankton biomass, which are preyed upon by pelagic fishes that migrated to this area, and to evaluate the functional role of the zooplankton community in relation to the fishery resources.

1. A total of 17,242 zooplankton samples collected from the Tohoku Sea Area between 1951 and 1990 was examined in this study. The samples were taken by vertical hauling of a conventional net, so called Marutoku net (net opening 45 cm, mesh aperture 0.33 mm) from 150 m depth to the surface. Using the collections, wet weight measurements and identifications to species were conducted. Long-term variations of zooplankton biomass and distributions of the dominant species were investigated. Relatively small variations of water temperature are observed at a depth of 100 m. The Oyashio Front and the Kuroshio Front are commonly represented by the Counter lines of 5 and 15°C at that depth, respectively. The present study also divided the Tohoku Sea Area into these three water masses based on this water temperature at a depth of 100 m, that is, the Oyashio Water (<5°C), the Transitional Water (5-15°C), and the Kuroshio Water (>15°C).

2. Monthly mean biomass of zooplankton within grids of every one degree of latitude and longitude was calculated for all the data collected. The biomass of zooplankton between January and March was less than 1 g/net although the sampling area covered only the western part from 150° E off the Joban Coast. High biomass was observed from May to October, during which observations occupied the whole of the Tohoku Sea Area. In particular, biomass of more than 10 g/net was commonly observed off the Sanriku Coast, the eastern Hokkaido, and the southern Kurile Islands. From November to December the biomass became small again to level as observed from January to March. The extensive survey conducted off the Joban and the Sanriku Coasts to the meridian of 160°E in May of 1973 revealed that high biomass occurred in the Kuroshio Water (>15°C). Observation along the meridian of 145°E conducted in September of 1986 also showed that zooplankton was abundant in the Oyashio Water and less so in the Transitional and the Kuroshio Waters. These results indicated that distributions of zooplankton are largely affected by the oceanographic conditions.

3. The range of water temperatures at the sampling sites was among 0.1 and 24°C. The highest biomass of zooplankton (34.1 g/m²) occurred in the lowest water temperature range (0-1°C). Zooplankton biomass decreased with increasing water temperature. Mean abundance in water temperature ranges of 5-10, 10-15, and >15°C were 11.6, 7.4 and 6-5 g/m², respectively. Ninety-seven percent of samples were less than 20 g/m² in the Kuroshio Water, while only the 51% was less than 20 g/m² in the Oyashio Water.

4. Seasonal changes in the zooplankton biomass were also investigated in the Tohoku Sea Area. The annual maximum biomass usually occurred in May in the Oyashio Water. Eighty

* 本研究は1993年度「北海道大学審査学位論文」の主論文の一部である。

percent of observations in the forty years had an annual maximum in May or June. The mean biomass in May reached 40 g/m^2 . From May to August the biomass was high ($20\text{-}30 \text{ g/m}^2$) and decreased in autumn. In the Transitional and the Kuroshio Water the biomass was also high in May and decreased in summer, but a small increase of biomass was observed in November.

5. Mean biomass of zooplankton was 17.3 g/m^2 in the Oyashio Water, although a long-term variation was noted for the yearly mean biomass. That is, relatively high biomass was observed from 1956 to 1962 (mean biomass, 16.5 g/m^2), from 1965 to 1978 (21.0 g/m^2), and from 1987 to 1989 (16.3 g/m^2). The mean biomass in the Transitional Water was 7.8 g/m^2 . Year to year variation was also observed in this water mass, but the trend was not as consistent as that observed for the Oyashio Water. In the Kuroshio Water the mean biomass was 5.8 g/m^2 with a small year to year variation.

6. Zooplankton biomasses in the three water masses of the Tohoku Sea Area were estimated based on the mean biomass and the area of the respective water masses. The estimates were conducted using data collected in the western sea area from 146°E from 1964 to 1990. During this period the total biomass for the whole Tohoku Sea Area varied between 1.934×10^6 and 5.358×10^6 ton. The mean biomasses in the Oyashio, the Transitional, and the Kuroshio districts were 1.731×10^6 , 1.857×10^6 and 0.299×10^6 ton, respectively. In the Oyashio district, year to year variations of the biomass were corresponded to the long-term variations of biomass and not to the changes of the area of the water mass. This trend was also noted in the Transitional district.

7. A total of 259 species was identified in the present study. Species composition represented well the properties of the water masses from which they were sampled. For example, seven of the 33 species occurred in the Oyashio Water off the Joban and the Sanriku Coasts, were indicator species of cold water masses (e.g., *Calanus cristatus*, *Calanus plumchrus*), while ten of 50 species that occurred in the Kuroshio Water were indicator species of warm water masses. In the Transitional Water both cold and warm water species were observed. Fifty-six species were regarded as dominant species based on the rank order of the individual number. Seven species were determined as the most important species in terms of the body weight (*Calanus cristatus*, *Calanus finmarchicus*, *Calanus plumchrus*, *Eucalanus bungii*, *Metridia pacifica*, *Calanus helgolandicus* and *Themisto japonica*). All of the seven species were indicator species of cold water. Although *Paracalanus parvus* was numerically dominant (5,886 inds/net), the total abundance of them was equivalent to only 24 individuals of *Calanus cristatus*. *Calanus cristatus* and *Calanus plumchrus* are widely distributed off the Sanriku Coast, the southeastern coast of Hokkaido, and the southern Kurile Islands, which are the main fishing grounds of the Pacific saury, from early summer to autumn. The increase of total zooplankton biomass observed in the Oyashio Water was due to *Calanus cristatus* and *Calanus plumchrus*.

8. Pacific saury (*Cololabis saira*) hatches out in the Kuroshio Water, and stay off the Joban Coast during their juvenile stages. Stomach content analysis showed that they preyed upon small body size copepods of the warm water species in the Joban Sea Area. Pacific saury starts to migrate northward with growth, and reach the Oyashio Water, where zooplankters are abundant. In this water mass they prey on larger body size zooplankters than those eaten in the Joban Sea Area. The mean amounts of stomach contents of Pacific saury (body length, 19-31 cm) were 3-5 g. The amount in small sized Pacific saury was less (2-5 g) and that of larger ones was more (max. 8 g). Although the weight of stomach contents increased with body size, the ratio to body weight was less in large size Pacific saury (4%) than in small size one (7%).

9. Total amount of zooplankton consumed by Pacific saury was estimated based on the growth from the juvenile stage in the northward migration to the adult stage in the southward migration assuming a transport efficiency of 10%. The fisheries of Pacific saury are usually conducted in the latter stage. From 1979 to 1985 the annual mean consumption of zooplankton by Pacific saury was 1.55×10^6 ton, which was 7-fold higher than the annual mean yield of Pacific saury during the same period.

10. Long-term variation observed in the yield of Pacific saury corresponded to that observed in zooplankton biomass in the Tohoku Sea Area. The present study revealed that zooplankton, especially the most important seven species in the cold water, played an essential role in maintaining resources of Pacific saury in the Tohoku Sea Area which is the main feeding ground of them.

The present study shows variations in zooplankton biomass and species compositions in relation to a planktivorous pelagic fish species. The results provide valuable information to investigate fishery resources, especially to consider trophodynamics of zooplankton and plankton feeder in the Tohoku Sea Area.

Keywords zooplankton, biomass, long-term, Oyashio, Kuroshio, seasonal change, *Cololabis saira*, feeding ground

まえがき

海洋における生物生産は、栄養塩類と光エネルギーを利用した植物プランクトンの光合成による一次生産を基礎に、これを摂食する動物プランクトンから大型魚類や海獣類に至る複雑な食物連鎖の上に成り立っている。また、北太平洋亜寒帯水域の北西部に位置する東北海域は、黒潮と親潮が交錯するため、生物の生産性が極めて高く、古くから世界的にも著名な好漁場として知られている。したがって、この東北海域において、魚類の主要な餌料となっている動物プランクトンの動態と変動様式および動物プランクトンをめぐる食う食われるの関係を解明することは、漁業生産に係る水産研究において極めて重要な課題であると考えられる。

海洋プランクトンが近代生物学の対象として研究され始めて以来 100 年余を経過したが、その間、採集技術や分類学的研究は長足の進歩を遂げ、プランクトン学が構築されてきた。そして、近年では生活史、再生産、生理、生態等の多分野にわたる研究も数多く展開されている。従来から、海洋における動物プランクトンは、その生物学的基礎研究の重要性もさることながら、漁業生産を支える各種有用魚類の餌料資源として捉えられ、その量的変動と海洋生態系における役割を解明することが重要な課題であった。そして、このような研究はまた、海域の生産力を推定するための手法を開発し得るものであると考える。しかし、海洋における長期にわたる動物プランクトンの種組成や量の変動に関する研究例は極めて少ない。我が国では、第 II 次大戦直後から北洋漁業等の関連で実施されたベーリング海（元田・箕田 1972）、オホーツク海（古橋 1980）における調査研究、漁況海況予報事業を主軸とした薩南から房総近海の黒潮流域（鈴木 1988）における調査研究等が挙げられる。また、北太平洋亜寒帯水域における動物プランクトンに関しては、FROST（1983）がアラスカ湾に設定された定点 P（50°N, 145°W）における季節変化と長期変動について解析している。さらに、BRODEUR and WARE（1992）は、1956～1962 年と 1980～1989 年の 2 期における動物プランクトン現存量と冬季の風力との相関関係について報告している。一方、

餌料生物としての動物プランクトンと捕食者である魚類との関係を解析した研究は多くみられるが、いずれも定性的な研究であり（平本 1981, 高ほか 1982）、当該魚類資源の消長等との量的関連を解析した研究は少ない。その一因として、魚類資源の変動を解析するための資料としては、数十年から百年に及ぶ漁獲統計資料等が存在するが、それに対応する動物プランクトンに関する資料がないことが挙げられる。そのなかで、北東大西洋海域における 1948 年～1987 年の 40 年間に及ぶ動物プランクトン生物量の長期変動と、鳥類のミツエビカモメの繁殖成功率の同調的変動性に関する研究（COLEBROOK 1989）は、極めて貴重な報告である。

我が国では、今世紀におけるマイワシ資源の歴史的な大変動に影響を及ぼす要因として、気候変動の影響による植物プランクトン量の変動について論議されている。近年におけるマイワシ資源の増大は、極東海域のみならず世界の各海域で見られており、このような現象は地球規模の環境変動と同調して起っていると考えられている。その一因として、地表気温の上昇が沿岸湧昇流の活動を誘発し、植物プランクトンによる光合成が盛んになることが、植物プランクトンに依存する割合の高いマイワシ資源の増大に寄与すると考えられている（川崎 1989）。さらに、我が国周辺海域においては、マイワシを中心とする浮魚生態系のなかで、カタクチイワシ、マサバ、サンマ、マアジ等の回遊性小型浮魚類の資源が、マイワシ資源の変動を軸として変動すると考えられている（KAWASAKI 1989）。東北海域は、これらの回遊性小型浮魚類が初夏から秋にかけて来遊して索餌する海域であり、ここで栄養を蓄積して晩秋になると南下して産卵回遊に移行する種が多い。この海域は彼等の生活史のなかで極めて重要な海域であり、餌料としての動物プランクトンの多寡は魚自身の数量動態と密接に関連する。したがって、この海域における動物プランクトンの長期変動に関する調査研究は、これらの回遊性小型浮魚類の資源研究にとっても重要な意味を持つものと考えられる。

我が国周辺海域における魚類資源の動態、漁況・海況変動機構の解明ならびに的確な漁況・海況予測のために、水産庁 7 海区水産研究所と全国関係水産試験場

によって、各種の漁業・海洋調査が実施されてきた。そのなかで、1949年から行われた鱈資源共同調査は、折から減少してきたマイワシ資源に関連して、第II次世界大戦後いち早く実施された調査である。その後、この調査は1954年からアジ・サバ・イカ類等を含む沿岸重要資源協同調査へと拡大され、東北海域ではサンマを主体とした沖合重要資源調査が開始された。そして、1963年に発生した日本近海の異常冷水に関連して1964年に拡充された漁況海況予報事業、1977年米ソ両国の200海里漁業専管水域の設定に対応した200カイリ水域内漁業資源調査等、時代の要請に応じて各種調査が発足し、現在も継続して行われている。このような歴史的過程で、沿岸・沖合・浅海定線を基本とした全国的な海洋調査ネットワークが整備され、いずれの調査においても動物プランクトンの定量採集が継続して実施されてきた。これらの調査で用いられた中井式45-B型プランクトンネット（通称、丸特ネット）は比較的小型の採集用具であるが、その採集物はこの海域における動物プランクトンの種組成と生物量を反映している（小達・小谷 未発表）。したがって、40年間の長期にわたって継続して蓄積された動物プランクトン試料は、東北海域の生物生産の動向を示唆する基礎的試料であると考えられる。

筆者は、1951年以来、40年余にわたって動物プランクトンの採集に関する企画、試料収集、測定処理、分類、整理に当たってきた。そして、東北海域において、1951年以来今日に至る40年間にわたって継続して採集された1万数千点に及ぶ動物プランクトンの試料について、その湿重量（Wet weight）を計測し、さらにその一部について種の同定を行ってきた。本研究では、東北区水産研究所が担当している海域で実施された各種漁業・海洋調査において、過去40年間に採集された動物プランクトン試料に基づいて、動物プランクトン採集量の地理的分布、現存量の水域別長期変動と出現種の組成・分布および生物量と海洋環境の変動との係わりについて解析した。また、春から秋へかけてこの海域に索餌のために来遊する回遊性小型浮魚類のうち、生涯を通じてその餌料を動物プランクトンに依存しているサンマをとりあげ、その分布および資源動態と主要餌料種との関連について考察した。

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、終始、懇篤なる御指導を賜り、本論文を御校閲いただいた北海道大学水産学部教授箕田 嵩博士に謹んで御礼申し上げます。また、同大学の教授尼岡邦夫博士ならびに教授島崎健二博士には、本論文を御校閲いただくとともに有益なる御教示をいただき、厚く感謝申し上げます。

著者が東北区水産研究所に入所して、動物プランクトン研究の途に進む端緒を与えられ、その後、北海道大学水産学部浮遊生物学教室に留学以来、同大学名誉教授元田 茂博士には数々の御指導を賜り、さらに研究の進展に激励を続けて下さった御厚情に衷心より御礼申し上げます。また、東北大学農学部教授谷口 旭博士には、分類表の作成にあたり御教示をいただき、深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたって、東北区水産研究所久米 漸所長、資源管理部長河井智康博士を始め、多くの先輩同僚諸兄の御助言と激励をいただき、感謝致します。海洋環境部長友定 彰博士には環境変動についての御教示を、資源管理部の小谷祐一技官には研究討議を通じ、および機械処理について御協力をいただき、厚く御礼申し上げます。さらに、40年の永きにわたって、困難なる各種漁業・海洋調査のなかで、動物プランクトン試料の採集に協力された関係水産研究所・水産試験場の数多くの調査担当者並びに調査船船長始め乗組員各位の労苦には心から敬意を表します。本研究は、これら方々の努力の蓄積であることを思えば、あらためて感謝の念が湧いて参ります。記して厚く御礼申し上げます。

1. 東北海域の海洋特性

1) 海洋構造の特徴

北太平洋亜寒帯水域に連なる東北海域には、南に黒潮前線（Kuroshio front）、北に親潮前線（Oyashio front）と呼ばれる2筋の水温前線が存在し、南側は黒潮水域（Kuroshio area）、北側は親潮水域（Oyashio area）、その中間は混合水域（Mixing area）、移行水域（Transition area）または混乱水域（Perturbed area）と呼ばれている（川合1972）。この海洋構造を模式的に示すと、Fig.1のようである。

親潮前線とは、水深50~200m層において塩分33.60以下の西部北太平洋亜寒帯水の周辺に発達する

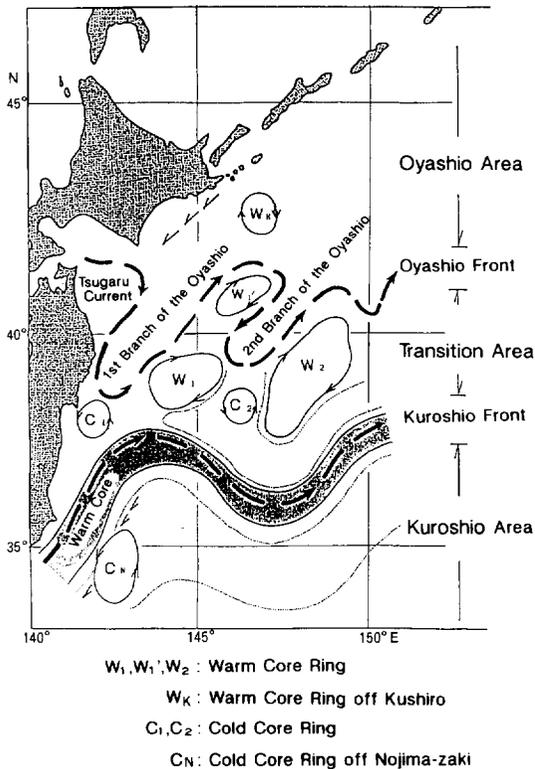


Fig.1 Schematic diagram of the hydrographic condition in the Tohoku Sea Area (reproduced from Kawai 1955).

水温前線であり、水深 100 m 層の指標水温は季節によってやや異なるが 5~8℃ の範囲である (川合 1972)。三陸~北海道の沿岸から沖合では親潮前線は著しく蛇行し、2本の大きな南への貫入がみられ、親潮第1・第2分枝と呼ばれている。さらに沖合では、亜寒帯境界線 (Subarctic boundary) とアリューシャン列島との間に、東向流する亜寒帯海流が存在する (DODIMEAD *et al.* 1963)。黒潮前線は、本州南岸沿いに流れる黒潮が千葉県野島崎付近からさらに東方へ流去する黒潮統流 (Kuroshio extension) の海面での流軸に相当し、その指標となる水温は水深 100 m 層で 15℃ である。

親潮水域と黒潮水域の間の混合水域では、黒潮前線の著しい蛇行によって、北方へ突出する暖水の舌状部が生じ、その周辺に二次黒潮前線が形成される。暖水舌がさらに発達すると、その基部が切離されて暖水塊となる。暖水塊は黒潮勢力の増大する 5~7 月に多く発生する (木村 1970)。この暖水塊は、発生後は夏から秋にかけて北方へ移動し、三陸沖暖水塊 ($W_{1,2}$)、釧路沖

暖水塊 (W_K) 等と呼ばれ、それらの周辺は漁場形成に重要な役割を果たしている。また、混合水域には親潮第1分枝の著しい貫入部の先端が残存して冷水塊が形成されることもある。

2) 海況の季節変化

東北海域では、本州中部南沿岸域を経て北上する黒潮、千島列島沿いに南下する親潮および沿岸域を南下する津軽暖流が交錯して、複雑な海況を形成する。この状態は年および年代により変動する。一例として、1970年1~12月における表面と水深 100 m 層の等温線配置 (東北区水産研究所 1970) ならびに各水域の表面水温と水深 100 m 層水温を 0~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~25℃ の 5段階に区分した Table 1 から、海況の季節変化の特徴を以下に整理した。

表面水温は、冬季 (1~3月) には東北海域の北部では 5℃ 以下、南部では 10~15℃ 前後と年間の最低値を示したが、4月または5月から上昇し始め、6月に急上昇した。最高水温はいずれの水域でも8月または9月にみられ、北部の南千島沖では 10~15℃ 以上、南部の常磐沖では 25℃ 以上となった。表面水温は10月から下降に転じ、12月へかけて三陸・常磐沖では 15℃ 前後となった。一方、水深 100 m 層水温は、冬季 (1~3月) には東北海域の北部で 5℃ 以下、南部では 10~15℃、中部の三陸沖では 10℃ 前後であった。7月と8月の盛夏には、北部では 5℃ 以下、南部でも 10~15℃ であり、北部と中部では周年にわたって温度変化が小さかった。しかし、南部では、9月と10月に 15℃ 以上となり、黒潮の影響による昇温がみられた。この年、三陸沖では2月と3月に暖水塊が認められ、その後、この暖水塊は徐々に北東へ移動し、9月には釧路沖に達したが、10月以降には不明瞭となった。

川合 (1972) によれば、東北海域の北部で親潮の影響下にある水域の表面水温は、冬季 (2月と3月) には 0~7℃、夏季 (8月) には 10~22℃ となる。夏から秋へかけての北部の南千島沖において、高温水は水深 20~30 m 以浅の極く表層を覆うだけで、その下には発達した水温躍層があり、さらにその下層には親潮冷水が存在する。一方、黒潮の影響下の南部では、表面水温は冬季の 14~19℃ から夏季には 20~27℃ に上昇する。中部では冬季には 5~16℃、夏季には南部と等しく 20~27℃ になり、表面水温の季節変化は最も著しい。親潮前線の指標となる水深 100 m 層の水温は、3~5月では 5℃、6~8月では 6℃、9月と10月では 7℃、11

Table 1 Range of the water temperature (°C) at surface and 100 m depth in 1970 by month and sea area in fig. 2.

Sea area	Depth	Jan.	Feb. & Mar.	Mar.	May	Jun	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov. & Dec.
Off southern Kurile Islands	0 m	—	—	—	—	~ 5	~10	~10	10~15	—	—
	100 m	—	—	—	—	~ 5	~10	~10	—	—	—
Off eastern Hokkaido	0 m		~ 5	~ 5	~10	5~10	10~15	15~20	15~20	~15~	~15~
	100 m		~ 5	~ 5	~ 5	~ 5	~ 5	~ 5	~ 5	~ 5	~10~
Off Sanriku coast	0 m	~10	5~10	5~10	10~15	10~15	15~20	20~25	20~	15~20	~15~
	100 m	~10	5~10	5~10	5~10	5~10	5~10	5~10	5~10	5~10	~15~
Off Joban coast	0 m	10~15	10~15	—	15~20	~20~	20~15	~25~	25~	20~	15~20
	100 m	10~15	10~15	—	10~15	10~15	10~15	10~15	15~	10~15	10~15
Off Tokai district	0 m	15~	15~	—	~20~	~20~	~20~	~25~	—	—	—
	100 m	15~	15~	—	15~	15~	15~20	15~20	—	—	—

月と12月では8°Cであり、その季節変化は比較的小さい。

2. 試料と方法

1) 研究対象海域の区分

本研究の対象海域は、千葉県野島崎南方の北緯33度から常磐・三陸沖を経て南千島沖に至る北緯46度まで、沖合は東経160度以西の範囲とし、この海域を東北海域と呼ぶことにする。そして、前述したように、北上暖水の形状、暖水塊の出現、南下する親潮分枝の貫入状態等によって異なるが、表面水温の大きな季節変

化に対して、水深100m層における等温線の配置の季節変化は小さく比較的安定していることから、本研究では、水深100m層水温が5°C以下の水域を親潮水域、5~15°Cを混合水域、15°C以上を黒潮水域とし、それぞれの水温をこれら3水域の指標水温とした。また、解析および呼称の便宜上、陸域に対応して東海・常磐・三陸・北海道東・南千島沖の5水域に区分した (Fig. 2)。さらに、沖合水域とはほぼ200海里水域以遠の水域、近海水域とはそれ以内の水域、沿岸水域とは大陸棚縁辺以浅の水域とした。

また、北緯35度から43度の東経145度以西 (北緯39度以北では東経146度以西) の範囲を、近海水域における動物プランクトン生物量を推定するための近海特定区域とした。この近海特定区域内の区分の呼称を、東北海域全域の水域区分 (親潮水域、混合水域、黒潮水域) と区別するために、水深100m層における水温で5°C以下を親潮区域、5~15°Cを混合区域、15°C以上を黒潮区域とした。

2) 動物プランクトン試料の採集

[採集器具と採集方法] 東北区水産研究所および関係水産試験場等が東北海域において実施する漁業・海洋調査では、動物プランクトンの採集には、中井式45-B型プランクトンネット (通称、丸特ネット; 以下、丸特ネットとする) が使用されている。このネットは、マイワシ資源対策として1949年に水産庁が企画実施した鱈資源共同研究の産卵場調査等において、各海区水産研究所および全国都道府県水産試験場等が標準ネットとして採用したものである。単純な構造のため船上

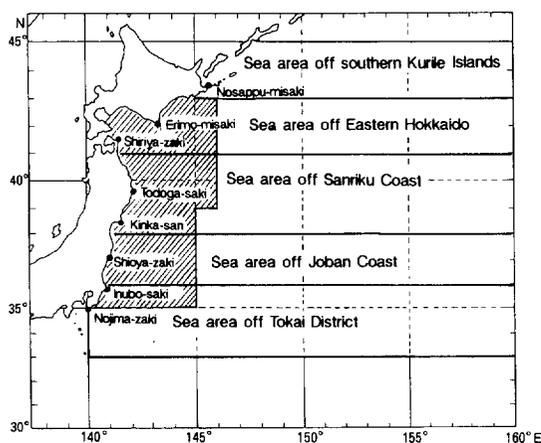


Fig. 2 Division and definition of the study site in the Tohoku Sea Area. Area shaded by oblique lines shows districts to estimate for the total amount of zooplankton biomass.

での操作が行ない易く、生物研究者が乗船できない定常的な調査航海でも、継続的に動物プランクトンを採集するのに適している。

丸特ネットの構造は口径 45 cm、網地側長 80 cm、網目 0.33 cm (GG54) であり、その開口比 (ネットを構成する網地面積に対する網地開口部分の面積との比) は 1.7 である。このネットに 10 kg 程度の鉛重錘を装着してワイヤー長で 150 m 沈降させた後、1 m/秒の速度で海面まで揚網して、動物プランクトンを採集した。したがって、その採集量は鉛直またはそれに近い状態で、直径 45 cm、高さ 150 m の水柱 (23.8 m³) の海水を濾過した場合の採集量に相当する。

[試料数と採集点分布] 東北海域において、組織的な漁業・海洋調査が開始された 1951 年以降、1990 年までの 40 年間に、水産庁調査船・都道府県指導船・大学および水産高等学校練習船等による延 1,333 航海で、丸特ネット で採集された動物プランクトンの総試料数は 17,242 点に達した (Table 2)。調査はほぼ周年にわたって実施されたが、この海域に來遊する回遊性浮魚資源調査との関連から、各年とも 5~9 月の試料数が年間の試料数の約 3 分の 2 を占め、それ以外の月、特に冬季の調査は少なかつた。年平均の試料数は 431 点である。

1951~1990 年における月別の動物プランクトン採集点の分布を Fig. 3 に示した。1~3 月の採集点は、145°E 以西の常磐~三陸~北海道東近海水域で多く、145°E 以東の沖合水域では少なかつた。4 月には調査はやや沖合へ広がったが、5 月に入ると 160°E までの沖合へとさらに拡大し、6 月へかけて東北海域の中・南部水域をカバーするようになった。7~9 月では、水温の上昇とともに、調査範囲は沖合から北方へと広がり 160°E まで及ぶが、南部水域では少なかつた。10 月と 11 月では、150°E 以東の調査は減少して、三陸・常磐近海水域を中心に調査が実施され、12 月にはさらに減少して 145°E 以西の近海水域に限られるようになった。

3) 動物プランクトン試料の処理

東北区水産研究所が担当した各種調査航海において、前述した方法で採集された動物プランクトン試料は、船上でただちに 5~10% ホルマリン海水で固定された後、研究所に持ち帰られた。また、漁況海況予報事業等の漁場一斉調査または協同調査等において、他の試験研究機関の調査船が同じ方法で採集した試料

も、同様に固定処理された後、その調査船が所属する機関から陸上便で東北区水産研究所へ送付されてきた。

全試料のうち、1951~1955 年の 749 点および 1971~1990 年の 904 点 (Table 2 の * 印) について、少量のものは全量を、多量のものは 1/2~1/16 程度に分割して、双眼実体顕微鏡等で種を同定し、計数板上で種ごとの個体数を計数した。種を同定した試料および他の試料 (合計 17,242 点) は、それぞれ全量をシャーレに移して、比較的大きい魚類稚仔やクラゲ類・ウミタル類・サルバ類等をピンセットで取り除いた後、丸特ネットと同一の網地 (目合 0.33 m, GG54) を吸い口に張りつけたピペットでホルマリン海水を吸い取り、さらに濾紙上で十分に水分を除去してから、感度 0.01 g の上皿天秤でその湿重量を測定した。なお、1980 年以降は電子天秤 (PJ-360, メトラー社製) を用いて測定した。

また、主要出現種の体長および体重を測定した。甲殻類の測定体長は吻端から叉肢末端までの水平長とした。大型種については各個体毎の重さを、小型種については 100 個体の重さを測定し、1 個体当りの体重を算出した。

4) サンマの消化管内容物の観察

東北海域における回遊性小型浮魚類の代表種であるサンマの消化管内容物を調べた。消化管内容物を観察したサンマ試料は、5~8 月の漁期前に調査船の曳き網によって採捕された試料と、8~11 月の漁期中に北海道~三陸近海の漁場でサンマ棒受け網によって漁獲された試料であり、1951~1955 年の 52 群・1,580 尾、1972~1976 年の 39 群・373 尾および 1980 年の 11 群・220 尾である。消化管は、氷蔵あるいは凍結された魚体または漁獲直後の魚体から取り出されたが、すべて 10% ホルマリンで固定された。典型的な動物プランクトン捕食者であるサンマは、無胃魚であって、筒状の消化管は食道部、腸管部、直腸部に区分されるが、本研究では腸管部内容物についてのみ湿重量を測定した後、種を同定した。

5) データ処理

動物プランクトン試料の湿重量の測定結果および主要出現種の計数結果は、水域別分布および年変動等を解析するために、採集条件等とともに所定の動物プランクトン湿重量測定表および査定表に整理した後、大

Table 2 Number of the zooplankton samples in the Tohoku Sea Area. Numbers marked with an asterisk show the number of samples for detail observation of the dominant species of zooplankton.

Year	Number of vessel	Number of cruise	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1951	9	17				45*	2*	58*	58*	74*	106*	4*			347
1952	6	12						76*	36*	90*	31*	8*			241
1953	7	20					10	67	162*	44*	30*				313
1954	6	15				4*	44*			77*	85*		8		218
1955	9	17	8*	12		12*	12*		10*	57*	18*		54*		183
1956	4	9							16	97	14	22	12		161
1957	4	13	20	20	19				31	97	13	16	16		232
1958	7	19		23	44		22	19	23	121	38	40	31		361
1959	10	28					105	81	135	170		21	22		534
1960	10	30			18	73	55	89	48	138	18	22	36		497
1961	5	20				37	27	65	62	23	22	13	6	12	267
1962	6	16				37	20	40	49	6	15	28	86		281
1963	7	35				29	37	24	64	3	80	50	70	50	407
1964	11	70	51	60	28	46	59	36	74	46	17	45	11	35	508
1965	16	76	22	22	12	23	27	37	89	111	49	41	49	24	506
1966	17	61	20	21	14	12	11	28	132	94	54	98	49	18	551
1967	13	70	17	13	6	36	46	45	132	90	67	77	50	44	623
1968	8	36	9	10	10		47	24	24	54	63	29	33	6	319
1969	6	29			11	50	47	17	54	21	41	12	35	12	300
1970	6	35	20	12	4	8	25		94	25	59	18	26	10	301
1971	7	35	23	28	11	10	84	16	144*	45	7	27	6	12	383
1972	6	23				19*	155*	59*	55*	26*	77*	21*	78*	18	508
1973	6	18				12	209	88	61	24	28	56	57	67	602
1974	6	13	1	33	26		60	16	3	35	30	7	27		238
1975	5	11	21		43		62	17	6	24	21	9	48	25	276
1976	10	28		14	86		36	54*	149*	93*	86*	50	23		591
1977	6	22	12	14	88		134	51		30	52	32	83	13	509
1978	11	39	3	61	36	5	97*	32	75	57	79	28	97	12	582
1979	12	63	17	11	29	38	106*	86	36	58	62	37	16	16	512
1980	10	29	23	101	73	6	40	42	67	79	44	14	53*	23	565
1981	8	39	12	31	6	19*	95*	28	33	29	21	25	21	8	328
1982	9	31	5	77*	11	26*	48*	14	42*	34	76*	36	13*	13	395
1983	11	52	28	44	29	38	117*	152*	96*	97	80	35	55	23	794
1984	11	50	6	39*	33	15	98*	95*	53	128	35	96*	80	11	689
1986	12	67	45	22	49	9	58	105	46	95*	187*	28	48	19	710
1987	9	59	34	86*	41	64*	84*	124*	50	16	74*	51*	7	5	586
1988	11	63	46	17	47	20	54*	77*	59	87*	88*	81*	49	13	638
1989	5	35	50	6	36	21	80*	71*	63	44	57	31	49	18	526
1990	3	12	20	20	6	6	25*	69*	20						166
Total	332	1,333	542	793	852	740	2,322	1,988	2,405	2,491	1,933	1,227	1,422	527	17,242

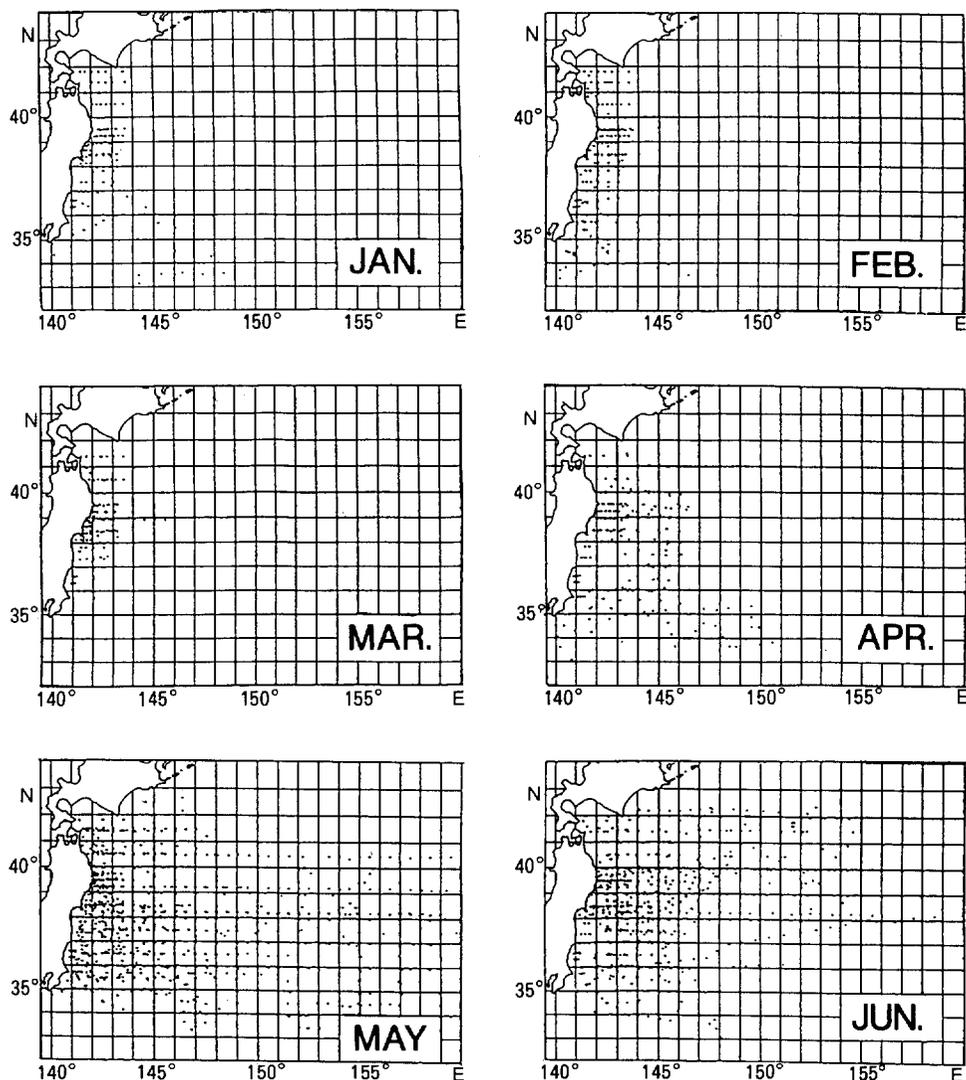


Fig. 3-1 Distribution of the zooplankton sampling stations.

型電子計算機で処理するためのデータベースおよび解析プログラム (PLAN-CROP-I, II) を作成した (小達 1986)。その後、データベースをパーソナルコンピュータで利用できるように変換し、さらに解析プログラム (PLASTMAP と Plank02~09) を作成して、NEC パーソナルコンピュータ PC9801EX (言語: N88BASIC) と富士通パソコン FM-16 β (言語: LAT TICE-C) により解析した。また、動物プランクトン試料の湿重量の測定結果は、解析の都合上、採集量 (g/net)、現存量 (g/m²)、生物量 (ton/area) の 3 つの単位で表した。

本研究で用いた主な打ち出し項目は、次のとおりである。

- 年別・月別の採集点数 (1951~1990 年)
- 採集点位置の分布図 (1951~1990 年)
- 動物プランクトン採集量の月別分布図 (1951~1990 年, 緯度経度 1 度柁目, g/net)
- 親潮・混合・黒潮水域別の月別、年別現存量 (1951~1990 年, g/m²)
- 近海特定区域別の生物量 (1964~1990 年, ton/area)

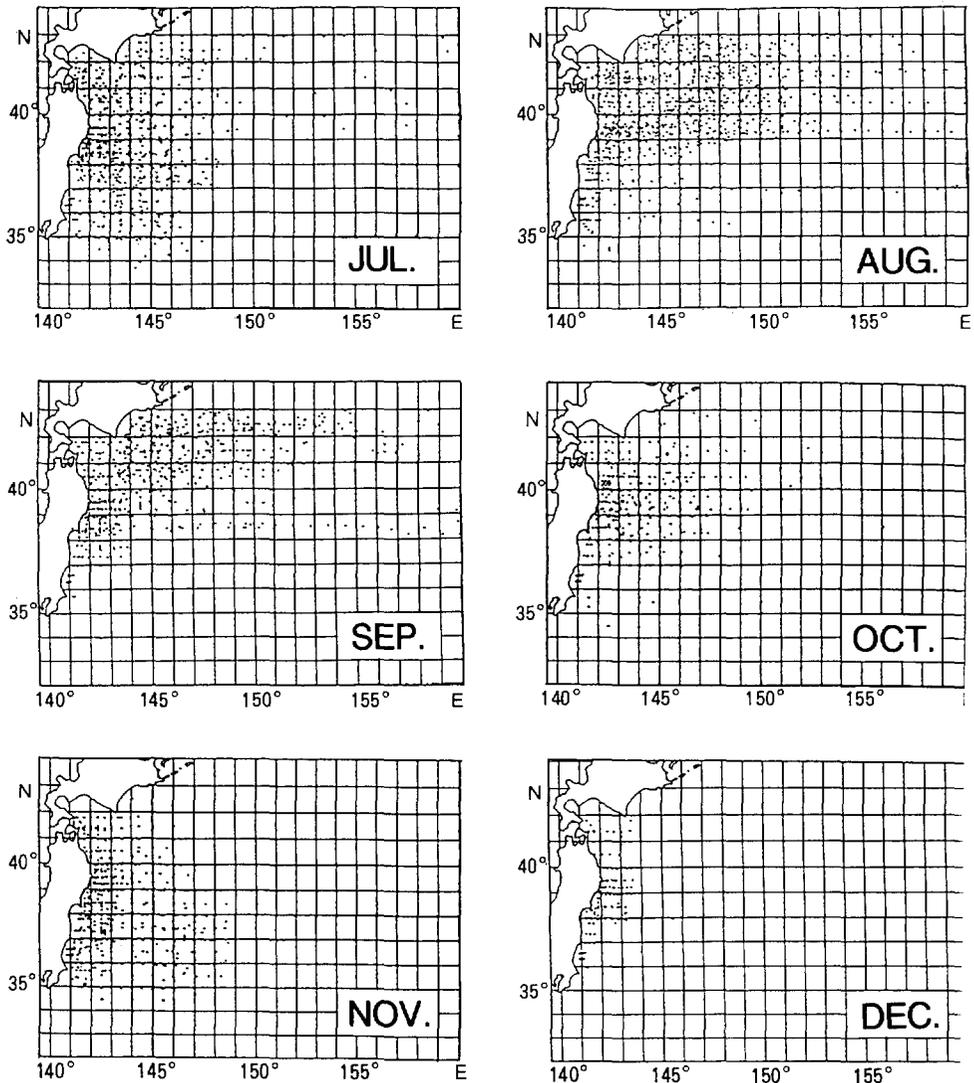


Fig. 3-2 Continued.

なお、図集「北西太平洋における1951～1988年の動物プランクトン現存量分布」(小達1991a)は、各調査点ごとの採集量から、月別・年別に緯度・経度1度柵目内の平均値のデータベースを作成して、海洋白図に打ち出した分布図である。また、本データベースは、フロッピーディスクにて提供することも可能である。

3. 動物プランクトンの採集量、現存量、生物量

1) 採集量の地理的分布

東北海域における動物プランクトンの採集状態を把

握するために、1951～1990年の40年間にわたる各月ごとの緯度・経度1度柵目の平均採集量(g/net)の分布をFig.4に示した。1～3月の採集点は、主として150°E以西の常磐水域に限られており、採集量は沿岸・沖合ともに少なく大部分は1g/net以下であったが、北部の水域でやや増加の徴候がみられた。4月以降10月までは、調査水域は150°E以东から東北東沖合へ拡がり、東北海域の全域を覆うようになった。平均採集量は40以北の三陸～北海道東～南千島沖水域で著しく増加し、5～7月には10g/net以上となった。しかし、常磐～三陸沖水域の平均採集量は、4～6月には1～3

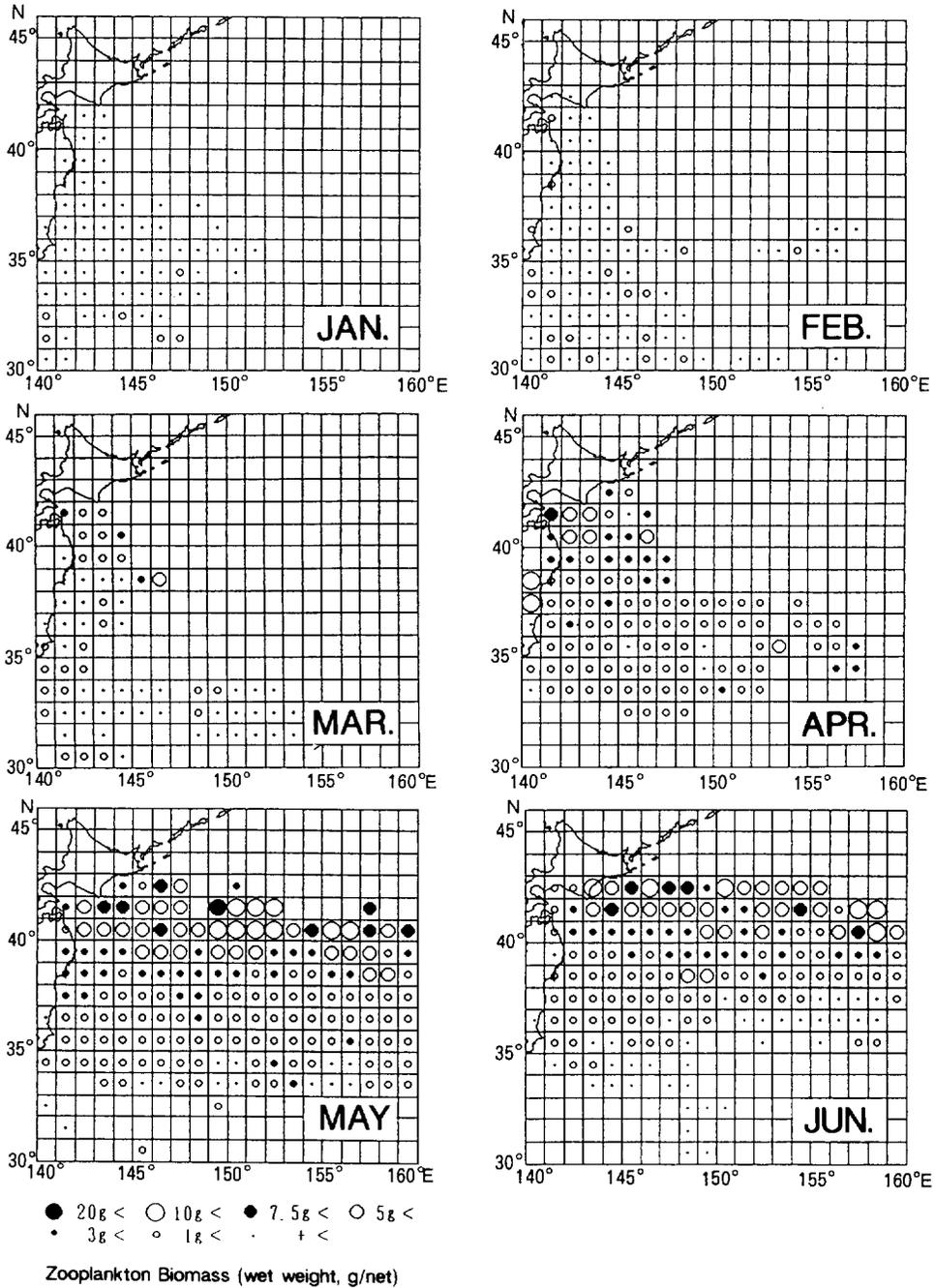


Fig. 4-1 Distribution of zooplankton biomass (wet weight, g/net) by month and 1-degree square.

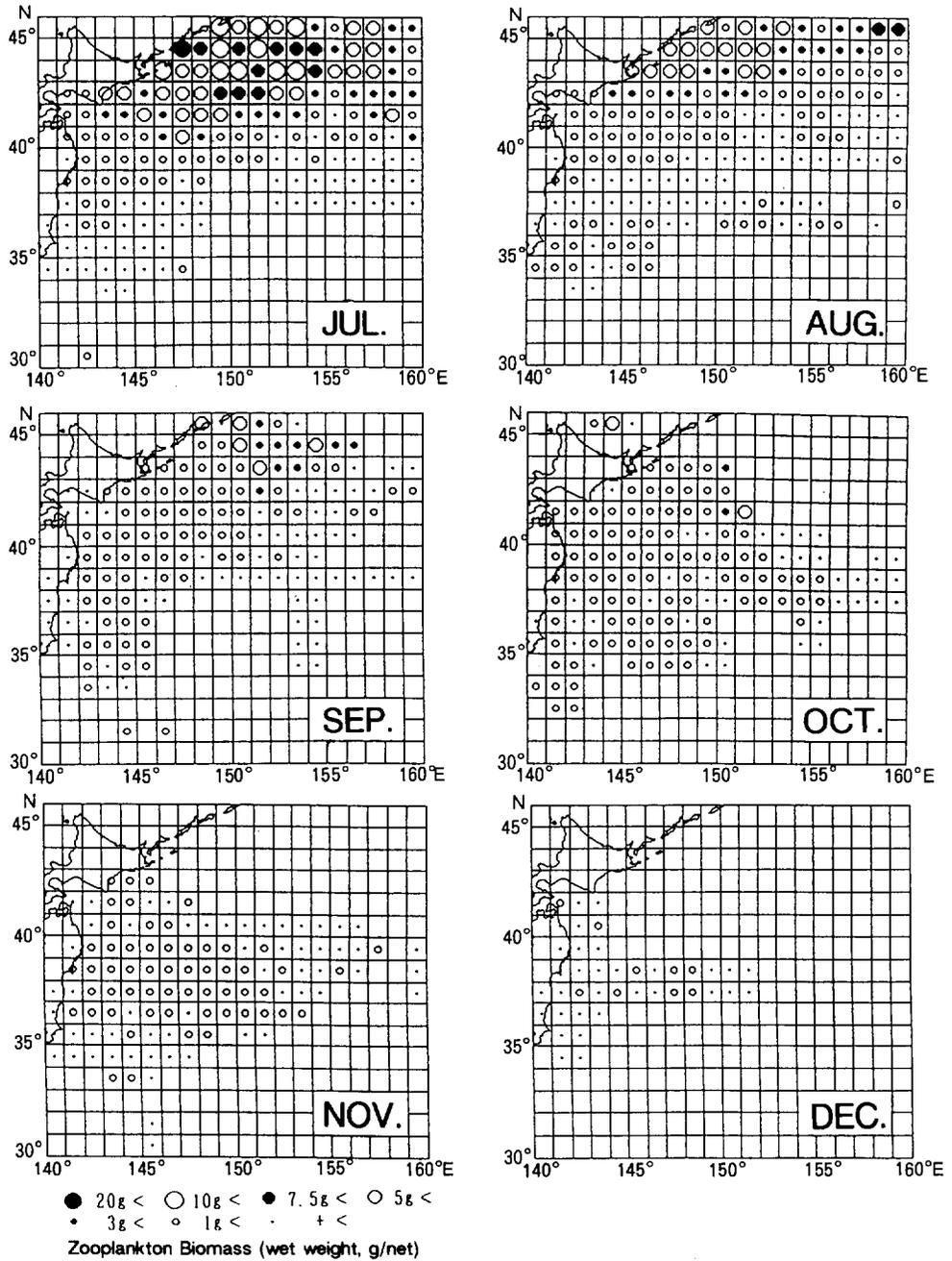


Fig. 4-2 Continued.

月と比較して増加したが、5 g/net 以下であり、増加量は小さい。10 月以降平均採集量は全域で 1 g/net 以下となった。このように動物プランクトン採集量の地理的および季節的变化は、本海域の北部に当たる三陸～北海道東～南千島沖水域で著しいことが明らかになった。

採集量の顕著な増加がみられた 5 月において、沿岸から沖合へかけての海況と動物プランクトン分布との関係を把握するために、1973 年に行われた 33～43°N, 141～162°E の 1,000 海里に及ぶ広範囲の調査結果にもとづいて、水域別の動物プランクトン採集量について検討した (Fig. 5)。この時の採集量は、38°N 線以北で 4 g/net 以上の地点が多く、特に水深 100 m 層等温線と対応し、5℃以下の親潮水域で採集量が多かった。38°N 線以南の 15℃以上の黒潮水域では少なく、その間の 5～15℃の混合水域では多い地点と少ない地点が入り混っていた。このように採集量は水温分布と密接に関連すると考えられ、親潮系水と黒潮系水との間に、動物プランクトン採集量に基本的に大きな差が見られた。

また、1986 年 9 月に実施した調査における動物プランクトン採集量の分布と海況を Fig. 6 に示した。海況では 40°N 付近を蛇行する親潮前線を境 (St. 9) に、それより南側の混合水域では 3 個の暖水塊が形成されており、さらに、その南では黒潮前線を經て黒潮統流が

東流していた。A 観測線 (145°E, 35～43°N) 上における動物プランクトン採集量は (Fig. 6, middle)、北側の親潮水域では 2～5 g/net、南側の黒潮水域では 1～3 g/net、中間の混合水域では 0.5～2 g/net で、親潮水域に比較して混合水域や黒潮水域では採集量が少なかった。また、A 観測線上の混合水域の中で黒潮統流から切離された暖水塊内では、黒潮水域に比較して採集量が少なかった。

東北海域で採集された動物プランクトンの 1 曳網当たり採集量 (g/net) は、0.01～25.0 g の範囲に及んだ。この採集量の差は 2 千倍以上もあり、同一海域においても動物プランクトンの分布密度に大きな変動があることを示唆している。また、採集物の内容をみても、大型動物プランクトンの単一種が大量に採集される場合、小型動物プランクトンの多数種が少量ずつ採集される場合等、多様である (小達 1962, 1966)。そこで、各水域における採集量の頻度分布の相違を明らかにするために、採集点が広範囲に分布し、動物プランクトンの採集量が多かった 5～7 月の親潮水域・混合水域・黒潮水域における現存量の頻度分布を比較した (Fig. 7)。いずれの水域でも 5 g/m² 以下の場合が卓越しているが、親潮水域ではその割合が 18% 程度であるのに、混合水域では約 30%、黒潮水域では 46% に達し、暖水域ほど 5% 以下の割合が高かった。また、20 g/m² までの頻度の累積割合は、親潮水域で 51%、混合水域

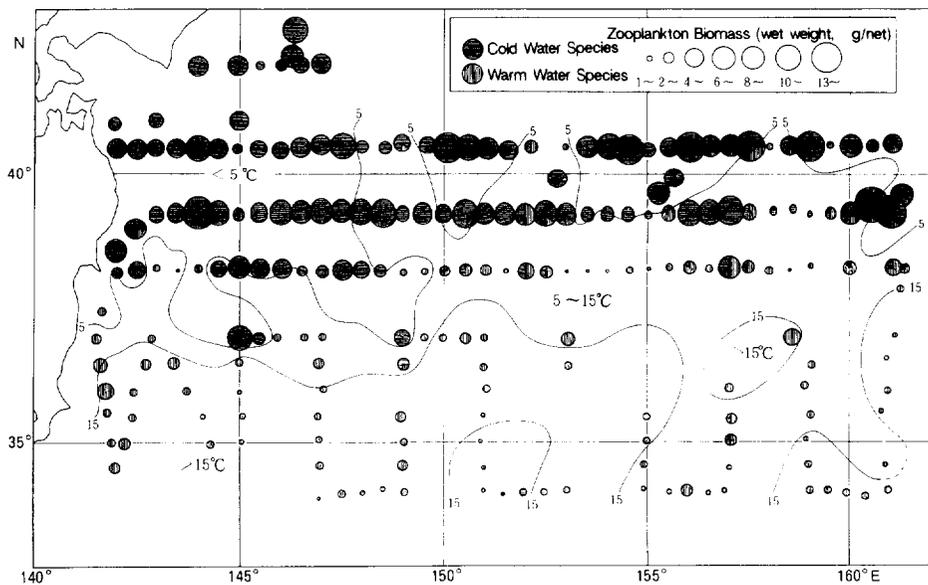


Fig. 5 Distribution of zooplankton biomass (wet weight, g/net) and hydrography in May 1973.

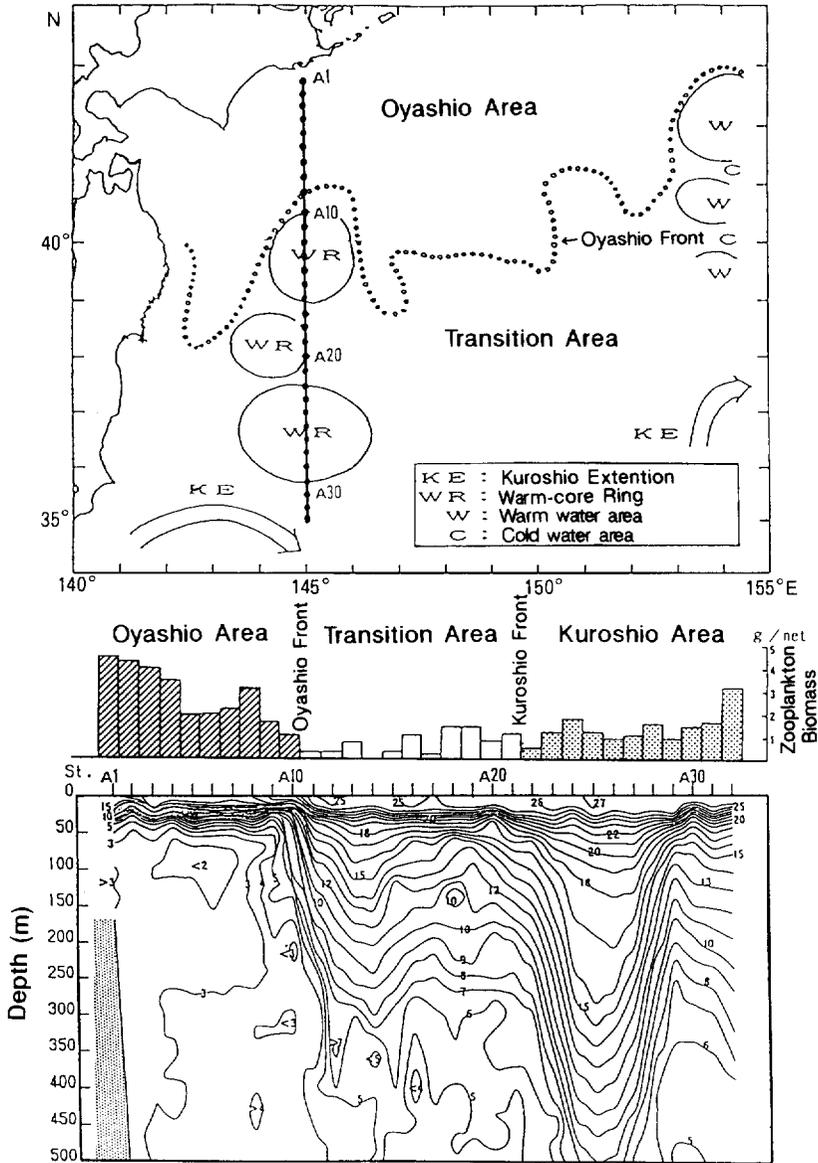


Fig. 6 Location of the sampling stations and hydrography (upper fig.), distribution of zooplankton biomass (middle fig.) and vertical profile of the water temperature (lower fig.) along the A-line (145°E, 35°-43°N) during the cruise of Kaiyo-maru in September 1986.

では 79% を占めたのに対し、黒潮水域では 97% であり、35 g/m² 以上の場合はなかった。親潮水域における現存量の分布幅は広く、200 g/m² 付近まで広がっていた。

2) 現存量と水深 100 m 層水温

1951~1990 年の調査期間中、17,242 点で採集された

動物プランクトン現存量 (g/m²) と、各採集点の水深 100 m 層の水温との関係を Fig. 8 に示した。なお、各水温階級ごとの採集点数は、22°C 以下では 100 点以上あり、そのうち 8~14°C 台で最も多く 500 点以上あった。全採集点の水温範囲は、0.1~24°C であった。また、水温階級別の平均現存量は、0°C 台の 34.1 g/m² を最高値として、5~10°C で 11.6 g/m²、10~15°C で 7.4 g/m²

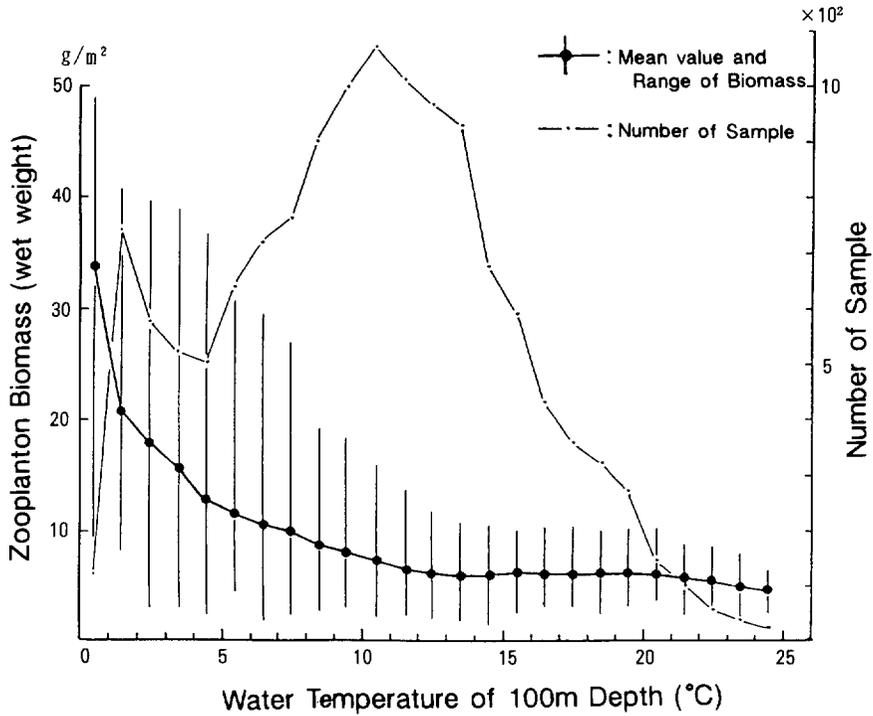


Fig. 7 Mean value of zooplankton biomass and number of samples in each class of the water temperature at 100 m depth from 1951 to 1990.

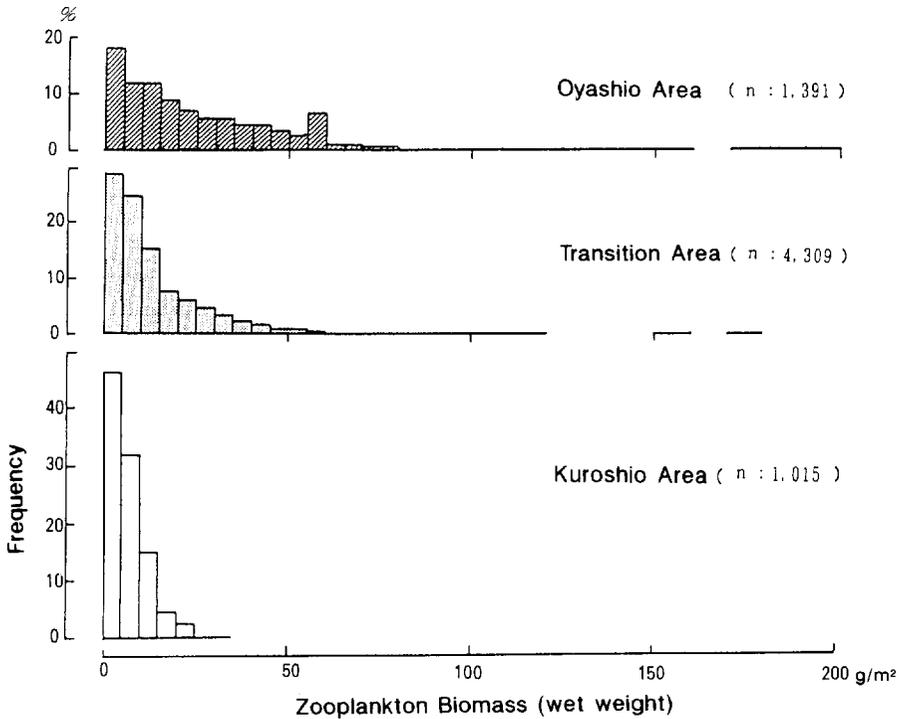


Fig. 8 Frequency distribution of zooplankton biomass by sample and area in May to July from 1951 to 1990.

へと水温が高くなるほど減少し、12°C以上では5~6 g/m²とほぼ同水準であった。水域別にみると、5°C以下の親潮水域では平均20.0 g/m²で最も多く、5~15°Cの混合水域で平均8.0 g/m²、15°C以上の黒潮水域では平均5.8 g/m²と少なかった。各水温階級内でみた変動幅は、8°C以下で非常に大きく5~50 g/m²もあったが、8~12°Cでは2~20 g/m²、13°C以上の水域では2~10 g/m²と小さかった。このように、東北海域における動物プランクトンの現存量は、低水温域で多く、高水温域で少ない。

東北海域の海況パターンは、基本的には模式図(Fig. 1)に示したパターンであるが、年或いは年代により大きく変化する。例えば、6月の海況で示すと、異常冷水年の1984年には親潮水域の先端は常磐近海に達していたのに、暖水年の1979年には三陸近海の39.5°N線に留まっていた。逆に、1979年には黒潮水域の北限は三陸沖の39°Nまで北上していたのに、1984年の冷水年には常磐近海の犬吠崎東方にあった。このように、東北海域における海況は季節的にも経年的にも大きく変化する。海況と動物プランクトン分布との関連は深いと考えられることから、次に水域別の動物プランクトン現存量の季節変化及び長期変動について検討した。

3) 現存量の季節変化

1951~1990年にわたる親潮・混合・黒潮各水域それぞれの月平均の動物プランクトン現存量(g/m²)の長期変動と総平均値をFig. 9に示した。親潮水域における動物プランクトン現存量の総平均値は、17.3 g/m²で、3水域の中で最も高く、月別には50 g/m²以上の月も多く見られ、最高値は1969年の120 g/m²であった。混合水域の現存量は高い月で20 g/m²前後、総平均値は7.8 g/m²であった。黒潮水域では、1966年に50 g/m²と突出した月もあったが、総平均値は5.8 g/m²で、3水域の中では最も低かった。親潮水域ではその変動幅は、季節的に極めて大きく、混合水域の変動幅は中位であり、黒潮水域では小さかった。

1951~1990年における1~12月の各月の平均現存量を水域別に求めて、その季節変化をFig. 10に示した。親潮・混合・黒潮の3水域とも5月に明瞭な現存量のピークが形成され、親潮水域では5月のピーク(41 g/m²)以後6~8月まで20~30 g/m²の高水準が持続していた。混合水域と黒潮水域では8月に一時的に低下したが、11月頃に再び小さな増加が見られた。このような特徴が、東北海域における水域別現存量の季節

変化の一般的傾向と考えられた。しかし、各年の動物プランクトン現存量の季節変化は一様ではないので、1951~1990年の40年間における水域別の現存量の季節変化をFig. 11で検討した。親潮水域の季節変化をみると、大部分の年では5月をピークとする単峯型であったが、1965、1969年のように7月にピークが見られた年もあった。また、1951~1957、1962、1966、1976、1979、1988年のように、8~10月にかけて小さなピークを示す双峯型の年もあった。混合水域や黒潮水域においては、現存量の水準は低い、多くの年で初夏の5月または6月に大きなピークがあり、さらに晩秋にも小さなピークを示す双峯型が多かった。

これら3水域において、現存量の大きなピークが出現する月の出現割合をまとめると、Table 3のようになる。親潮水域では、現存量のピークは3~7月に現れる。そして、5月にピークがある年が24カ年(60%)、これに1カ月ずれて6月にピークがある8カ年(20%)を加えると、親潮水域では80%の年で初夏の5月または6月を中心にピークが形成された。その他、この40年間には3月(1955、1967年)、4月(1954、1961、1972年)、7月(1965、1969、1971年)にピークが現れる年があった。このような年においては、ピークを示した月の前後の変化が著しかった。その一因として、それらの月あるいはその前後の月における採集点数が少ないことが挙げられる。

混合水域では、5月にピークがある年は55.0%、4月と6月を含めると92.5%が初夏にピークを示したが、9月(1979年)と11月(1954年)にピークを示した年が各1年づつあった。黒潮水域では、5月にピークがある年は47.5%、4月と6月を含めると72.5%が初夏にピークを示したが、11月にピークがある年が6カ年(15.0%)もあり、初夏と秋の双峯型を示す傾向が見られた。

4) 現存量の経年変動

東北海域における動物プランクトン現存量は、親潮水域で圧倒的に多く、黒潮水域では少なく、混合水域はそれらの中位であった。また、平均的な季節変化は、初夏に増大し、盛夏の高水準期を経て漸次減少するが、混合水域と黒潮水域では晩秋にも増加すること等が明らかになった。そこで、この海域における動物プランクトン現存量の経年的変動傾向を解析するに当たって、親潮・混合・黒潮水域ごとに、1951~1990年の月別平均現存量(Fig. 11)の48カ月移動平均を求めて

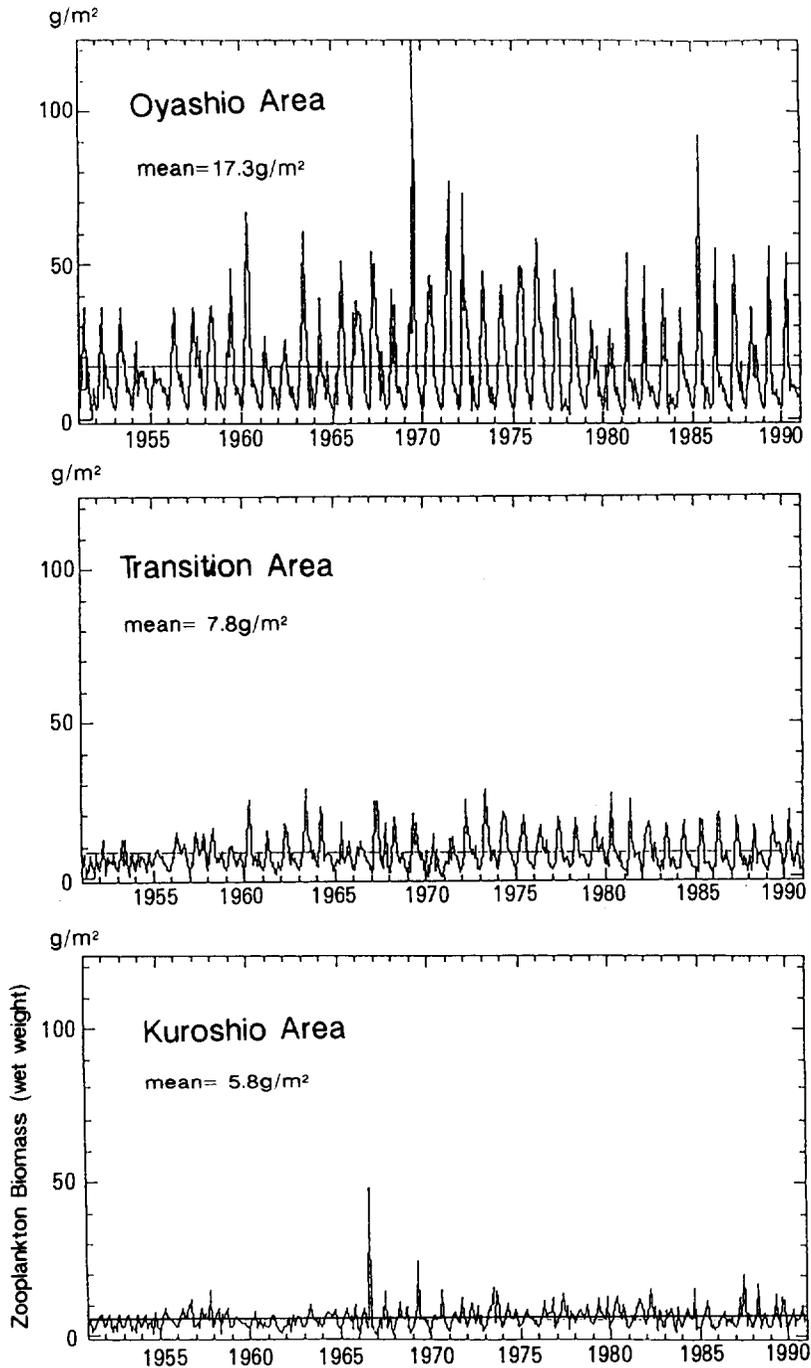


Fig. 9 Long-term variability of the monthly mean value of zooplankton biomass from 1951 to 1990.

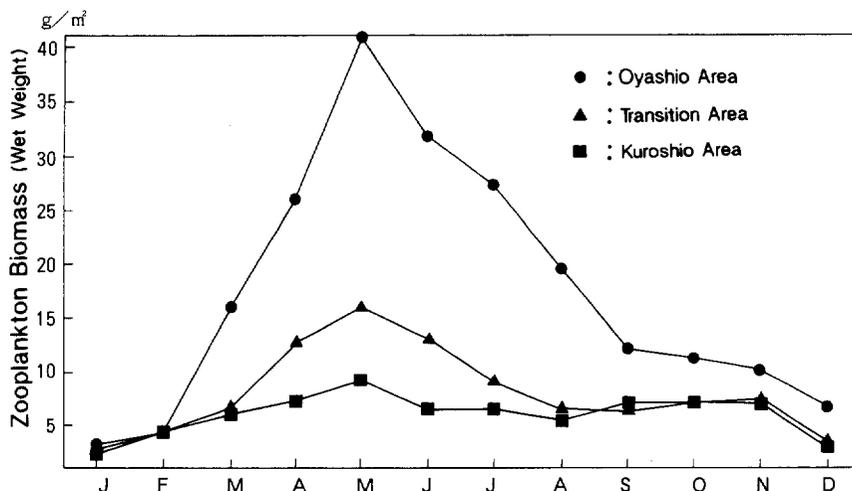


Fig. 10 Seasonal change of the total mean value of zooplankton biomass from 1951 to 1990.

Table 3 Frequency of the peak month of zooplankton biomass from 1950 to 1990. A month showed the most abundant of zooplankton biomass in each year was counted as the peak month.

Month	Oyashio Area		Transition Area		Kuroshio Area	
	frequency of occurrence	%	frequency of occurrence	%	frequency of occurrence	%
Mar.	2	(5.0)	1	(2.5)	1	(2.5)
Apr.	3	(7.5)	8	(20.0)	7	(17.5)
May	24	(60.0)	22	(55.0)	19	(47.5)
Jun.	8	(20.0)	7	(17.5)	3	(7.5)
Jul.	3	(7.5)	—	—	1	(2.5)
Aug.	—	—	—	—	1	(2.5)
Sep.	—	—	1	(2.5)	1	(2.5)
Oco.	—	—	—	—	1	2.5
Nov.	—	—	1	(2.5)	6	15.0
Total	40	(100.0)	40	(100.0)	40	(100.0)

Fig. 12 に示した、各水域の経年的変動傾向の特徴は次のようである。

親潮水域における動物プランクトン現存量の総平均値は 17.3 g/m² であり、長期的には明瞭な 3 つの高水準期が認められた。第 I 期高水準期は 1956～1962 年までの 6 カ年で、1959 年にピークがあって、この期間の平均現存量は 16.5 g/m² であった。第 II 期高水準期は 1965～1978 年までの 13 カ年で、ピークは 1971 年であって、この期間の平均現存量は 21.0 g/m² で、40 年間を通じて最も高い水準が長期間持続した。第 III 期高水準期は 1984～1989 年までの 5 カ年で、1987 年に

ピークがあって、平均現存量は 16.3 g/m² で、第 I 期とほぼ同水準であった。これら現存量の 3 つの高水準期の間には、1954, 1963, 1981 年を中心とした低水準期が形成されている。1987 年以降は減少傾向が続いており、1990 年はいまだ低水準期にあるものと推定される。親潮水域における現存量の総平均値 17.3 g/m² に対して、年変動の幅は非常に大きく、第 II 期中のピークであった 1971 年には 25 g/m² を記録したが、低水準期の 1954, 1964, 1983 年はいずれも 14 g/m² であって、その間には約 11 g/m² の差がみられた。

混合水域における動物プランクトン現存量の総平均

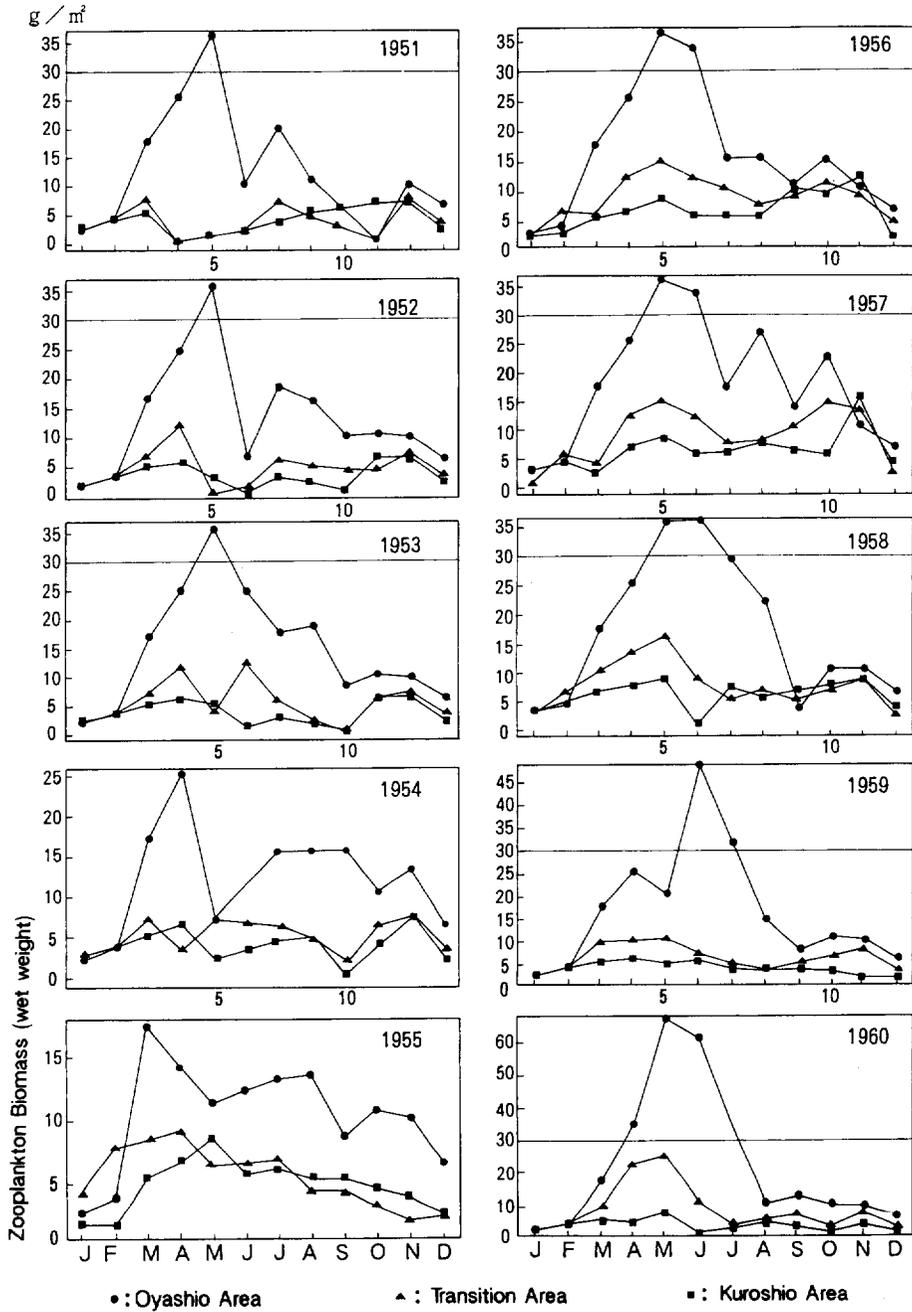


Fig. 11 Seasonal change of the mean value of zooplankton biomass by year from 1951 to 1990.

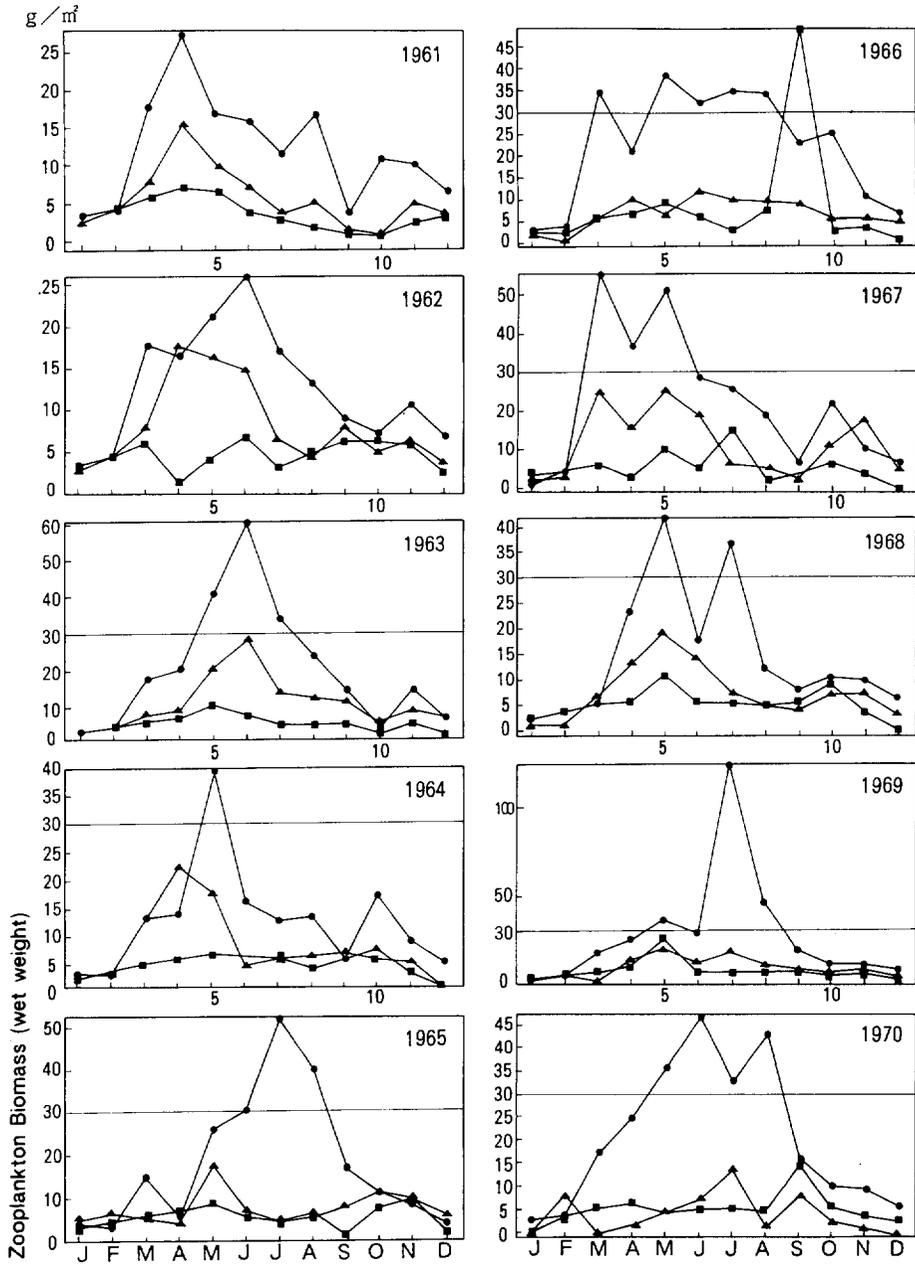


Fig. 11-2 Continued.

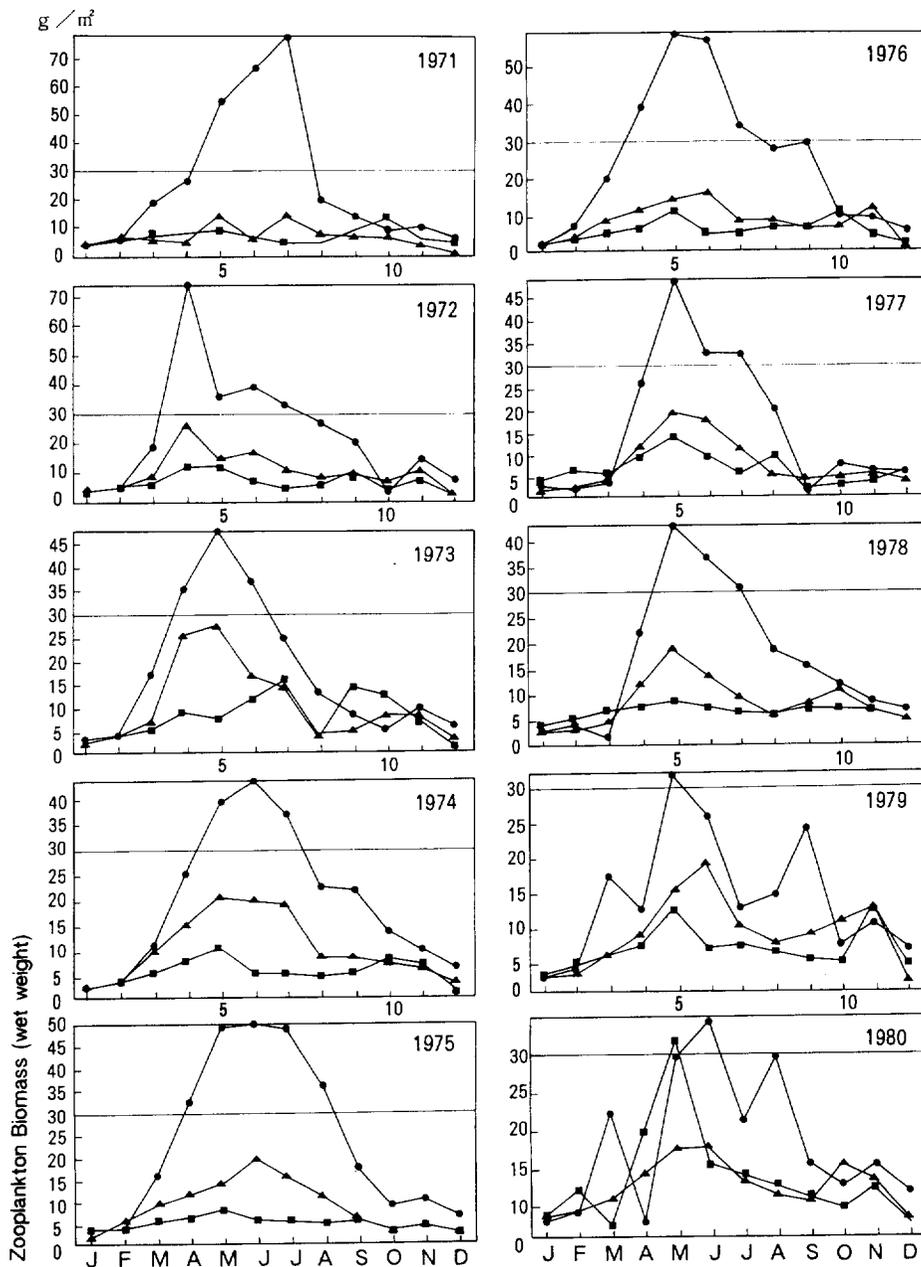


Fig. 11-3 Continued.

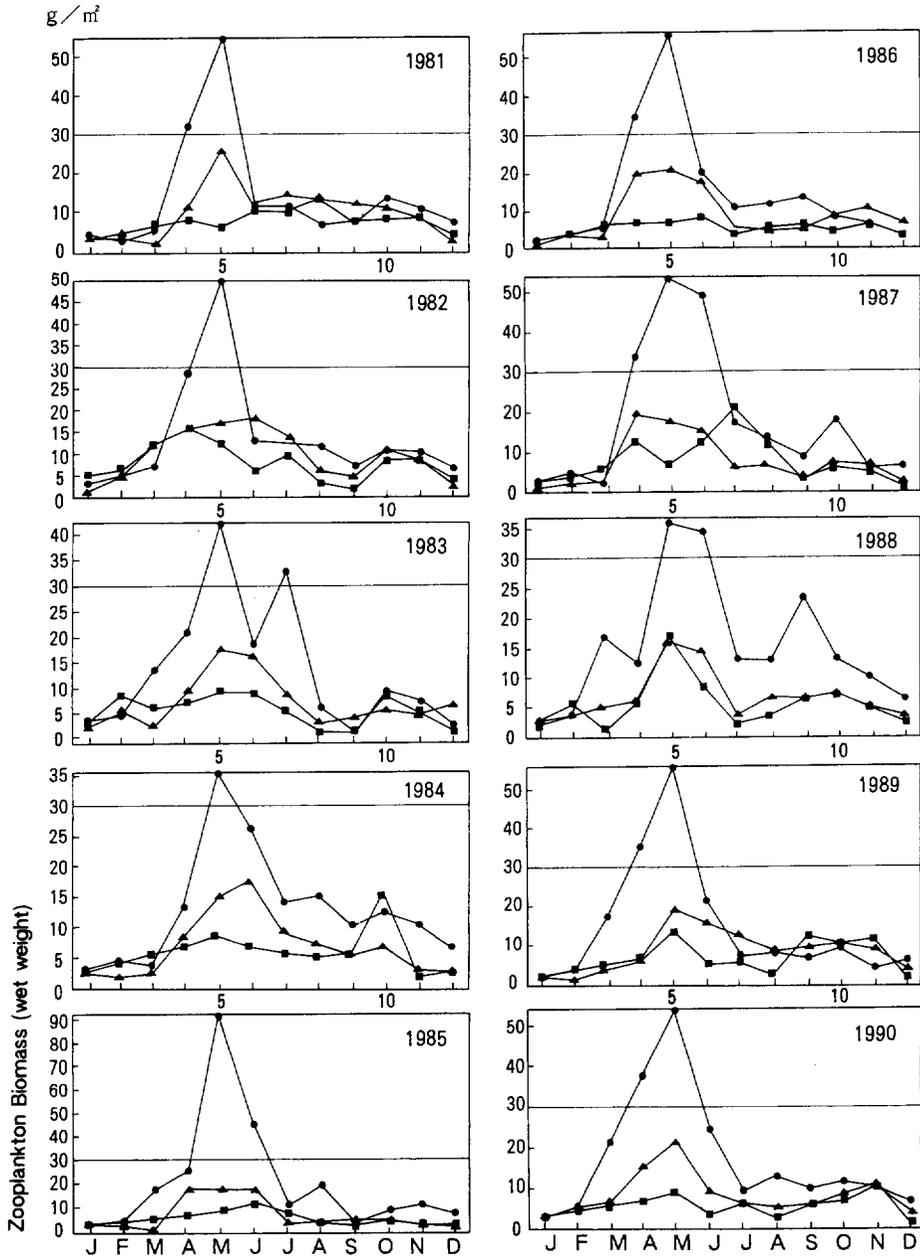


Fig. 11-4 Continued.

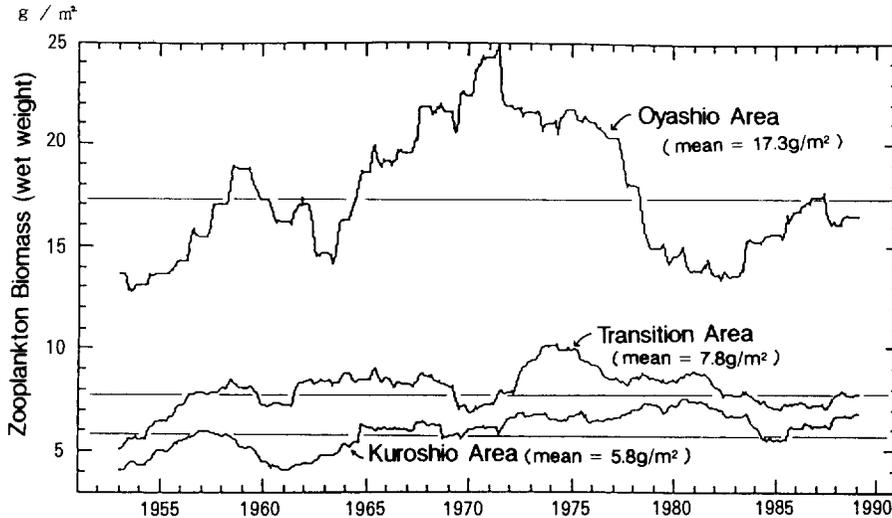


Fig. 12 Long term variability of zooplankton biomass indicated by 48 months running mean from 1951 to 1990. Horizontal lines in the figure show mean values of zooplankton biomass in each area.

値は 7.8 g/m² であり、親潮水域に比べて約 1/2 の低水準で、かつその変動幅は小さかった。長期変動傾向としては、1957～1969 年の高水準期と 1969～1972 年の低水準期、1974 年のピークを経て、1987 年まで漸減状態が続いていた。そして、この長期変動傾向は親潮水域のそれとは、必ずしも同期してない。

黒潮水域における動物プランクトン現存量の総平均値は 5.8 g/m² でさらに少なく、親潮水域の約 1/3 であった。長期的には 1957 年をピークとした高水準期から 1960～1963 年の低水準期を経て、1981 年までの約 20 年間は微増傾向で推移した。その後、1985 年を中心とした低水準期を経て、近年は増加傾向を示している。

黒潮水域と混合水域の長期変動傾向は、1954～1957 年、1965～1969 年、1978～1984 年のように高水準期がほぼ同期している年代もあるが、親潮水域に比べると変動幅は小さいので、相対的には低位に安定しているものとみられる。また、親潮・混合・黒潮水域における動物プランクトン現存量の総平均値（親潮水域：17.3 g/m²、混合水域：7.8 g/m²、黒潮水域：5.8 g/m²）をそれぞれの平年値として平年偏差を求めると、その変動幅は親潮水域で最も大きく、最大 +7 g/m² から最小 -4 g/m² の範囲であった。また、混合水域におけるその変動幅は ±3 g/m²、黒潮水域では ±2 g/m² 程度であった。東北海域における動物プランクトン現存量の長期変動は、平年偏差からみても、親潮水域における

変動幅が大きく、黒潮水域では比較的安定しており、混合水域はそれらの中間的な変動幅であった。

親潮水域における動物プランクトン現存量の長期変動は季節的には初夏の増大から盛夏の高水準量が大きな比重を占めることから、この海域に来遊して動物プランクトンを捕食する浮魚類との関連では、夏季の動物プランクトン現存量の動向が極めて重要である (Odate 1985)。そこで、各年の夏季 (5～7 月) の平均現存量を求めて、その経年変動について検討した (Fig. 13)。親潮水域における夏季の平均現存量は 33.3 g/m² であった。その高水準期は年平均値の変動に見られた第 I・II・III 期高水準期に対応しているが、最高は 1971 年の 66 g/m²、最低は 1954 年の 12 g/m² であり、その変動幅はさらに大きかった。このことは、北方水域における夏季の動物プランクトン現存量は年変動が大きいことを示唆している。混合水域の総平均値は 12.6 g/m²、黒潮水域では 7.2 g/m² で、両水域の間で同調的な変動傾向を示した。

5) 近海特定区域の生物量の評価

東北海域における動物プランクトン現存量の季節変化は、水域によって異なるが、基本的には初夏の増大、北部では盛夏の高水準を経て秋へ向かって次第に減少し、南部では晩秋に一時的に増加するというパターンを繰り返すことが明らかになった。そして、親潮水域

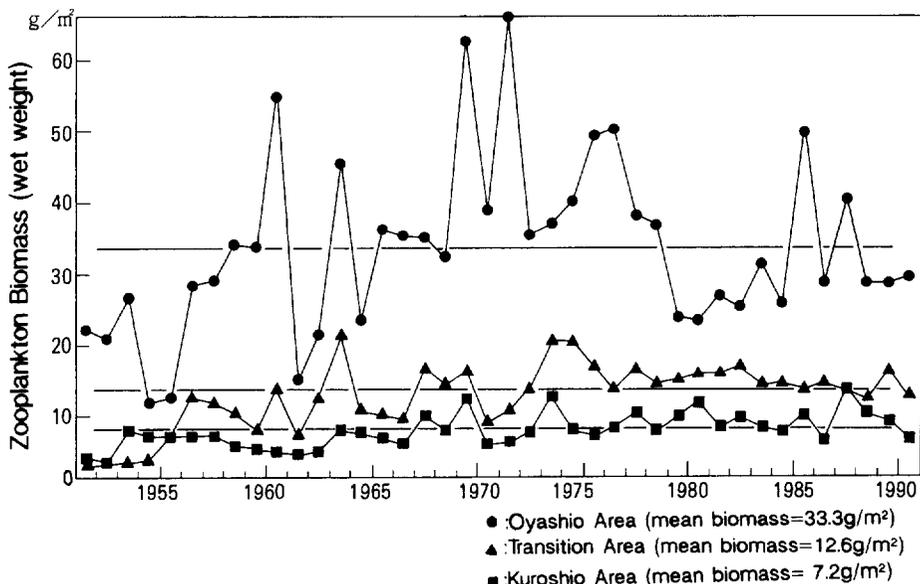


Fig. 13 Long term variability of zooplankton biomass in the summer season of May to July from 1951 to 1990. Horizontal lines in the figure show mean values of zooplankton biomass in each area.

では、1951~1990年の40年間にわたる現存量の長期変動において、3つの高水準期を経過してきたが、そのうち第II期(1965~1979年の15カ年)が特に高い水準であった。このような動物プランクトン現存量(g/m^2)を、この海域に來遊する小型浮魚類の餌料生物量として評価する試みとして、連続的データが揃い、継続してプランクトン採集が行われた1964年以降、各年6月の常磐~三陸~北海道東の近海特定区域(35~43°N, 145°E以西; 39°N以北では146°E以西, 面積224,830 km^2)を対象とし、この区域内における親潮区域, 混合区域, 黒潮区域の動物プランクトン生物量(ton/area)を算定した。

この近海特定区域内における各区域の占有面積は、対象区域の総面積224,830 km^2 に対して、年による差が見られた。親潮区域は平均54.7 $\times 10^3$ km^2 であったが、29.7~101.6 $\times 10^3$ km^2 の間で変動し、1972年は狭いが1984年は広い等、年によって占有面積が大きく異なった(表4, 図14)。混合区域の占有面積は3区域のなかで最も広く、91.3~163.8 $\times 10^3$ km^2 の間で変動し、平均130.6 $\times 10^3$ km^2 であった。1964~1977年の期間の変動は小さかったが、その後は変動が大きくなった。黒潮区域の占有面積は最も狭く、平均は39.4 $\times 10^3$ km^2 であったが、1966年の最低19.0 $\times 10^3$ km^2 と1979年の

最高79.5 $\times 10^3$ km^2 の間で変動し、この両年を除けば経年的には大きな変動は見られなかった。

3区域の占有面積比の経年変動を示すとFig. 15のようになる。親潮区域の占める割合は、1964~1983年の間は20%前後と安定していたが、1984年には親潮が大きく混合区域内に張り出し、東北近海は異常冷水となった。この年以降、親潮区域の占有面積は比較的広くなるとともに、その変動幅も大きくなった。混合区域の占有面積比は、1964~1977年の間は親潮・黒潮区域とともに比較的安定していたが、1978年以降は北からの親潮、南からの黒潮に影響されて、年変動も大きくなった。一方、黒潮区域の占有面積比は、1972年にはやや高く、1977年にはやや低いものの比較的安定しており、その後も1979年の異常暖水年、1980, 1982年の暖水年を除いて大きな変動は見られなかった。この近海特定区域内における6月の動物プランクトン現存量についてみると、1964~1990年の平均値は親潮・混合・黒潮区域で大きな差があった(表4, Fig. 16)。親潮区域では12~65 g/m^2 の間で変動し、その平均値32.6 g/m^2 は親潮水域の夏季(5~7月)の総平均値33.3 g/m^2 とほぼ同じ値であった。経年的にみると1970~1980年の期間は高い値が持続しているが、これは親潮水域全域における現存量の第II期の高水準期(1965

Table 4 Estimating for the total amount of zooplankton biomass in each district in June. Asterisks show the data in July.

Year	Oyashio district			Transitiou district			Kuroshio district			Total biomass of three districts (ton)
	Biomass (mg/m ²)	Area (km ²)	Total Biomass (ton)	Biomass (mg/m ²)	Area (km ²)	Total Biomass (ton)	Biomass (mg/m ²)	Area (km ²)	Total Biomass (ton)	
1964	16,950	*53,480	906,486	5,616	*132,430	743,726	7,290	*38,920	283,726	<u>1,933,938</u> min
1965	30,810	68,600	2,113,566	7,116	132,710	944,369	5,784	23,520	136,039	3,193,969
1966	32,220	*42,000	1,353,240	11,586	<u>*163,790</u> max	1,897,670	5,784	<u>*19,040</u> min	110,127	3,361,037
1967	28,536	38,920	1,110,621	18,726	142,790	2,673,885	4,980	43,120	214,737	3,999,243
1968	17,862	49,840	890,242	14,430	139,990	2,020,055	5,784	35,000	202,440	3,112,737
1969	27,672	55,720	1,541,883	10,344	134,670	1,393,026	5,784	34,440	199,200	3,134,109
1970	46,722	54,040	2,524,856	7,680	132,710	1,019,212	5,784	38,080	220,254	3,764,322
1971	65,722	47,880	3,146,769	5,526	129,350	714,788	5,700	47,600	271,320	4,132,877
1972	38,400	<u>49,680</u> min	1,139,712	16,374	142,790	2,338,043	6,402	52,360	335,208	3,812,963
1973	37,428	*55,160	2,064,528	17,484	*124,590	2,178,331	12,270	*45,080	553,131	4,795,990
1975	43,632	44,240	1,930,279	20,252	141,390	2,863,430	5,784	39,200	226,732	5,020,441
1975	49,836	35,840	1,786,122	19,968	139,910	2,893,722	5,784	31,080	179,766	4,759,610
1976	56,766	50,680	2,876,900	16,596	136,350	2,262,864	5,784	37,800	218,635	<u>5,358,399</u> max
1977	32,592	36,960	1,204,600	17,526	152,030	2,664,477	9,954	35,840	356,751	4,225,828
1978	36,678	66,360	2,433,952	14,190	107,510	1,525,566	7,416	50,960	377,919	4,337,437
1979	25,890	54,040	1,399,095	19,092	<u>91,270</u> min	1,742,526	7,158	<u>79,520</u> max	569,204	3,710,825
1980	29,118	41,720	1,214,802	10,543	126,270	1,331,138	12,900	56,840	733,236	3,279,176
1981	12,150	63,280	768,852	10,980	131,310	1,441,783	9,408	30,240	28,497	2,495,132
1982	12,900	35,840	462,336	18,150	139,430	2,530,654	5,916	49,560	293,196	3,286,186
1983	18,432	58,880	1,083,801	16,057	135,230	2,171,252	9,042	30,800	278,493	3,533,546
1984	26,436	<u>101,640</u> max	2,686,955	18,018	92,390	1,664,683	6,750	30,800	207,900	4,559,538
1985	45,114	44,520	2,008,475	17,832	145,870	2,601,153	11,760	34,440	405,014	5,014,642
1986	19,692	82,880	1,632,072	16,746	114,790	1,922,273	8,076	27,160	219,344	3,773,689
1987	49,038	55,720	2,732,397	15,390	133,830	2,059,643	12,300	35,280	433,944	5,225,984
1988	34,716	60,480	2,009,623	14,538	106,950	1,554,839	8,862	57,400	508,678	4,163,140
1989	21,516	88,200	1,897,711	15,672	104,990	1,645,403	5,784	31,640	183,005	3,726,119
1990	23,778	52,080	1,238,358	9,036	144,190	1,302,901	3,150	28,560	89,964	2,631,223
Average (%)	32,615 (24.36)	54,763 (24.36)	1,731,355	14,276 (58.11)	130,649 (58.11)	1,857,820	7,458 (17.53)	39,417 (17.53)	299,720	3,888,896

～1978年)に相当し、1984～1988年の期間は同じく第III期に当たる(Fig. 12)。混合区域では5.5～20.3 g/m²の範囲で変動し、平均値は14.3 g/m²で、3区域の間では中位の値であった。黒潮区域では3.2～12.9 g/m²の間で変動し、平均値は7.4 g/m²で、3区域の中では最も低かった。近海特定区域内における6月の動物プランクトン現存量の総平均値は、混合・黒潮区域とも、東北海域全域の混合水域・黒潮水域の現存量の総平均値とほぼ同じ値であった。

この近海特定区域は、東北海域の一部であるから、平均値とともに現存量の経年変動も前述した3水域のそれと類似している。しかし、現存量および占有面積は経年的に変動しており、近海特定区域内の動物プランクトン生物量の経年変動には、現存量とともにその占

有面積も重要な要因になるものと考えられる。近海特定区域内の親潮・混合・黒潮区域における各年の平均現存量(g/km²)に占有面積(km²)を乗じて各区域の動物プランクトン生物量(ton/area)を求め(Table 4)、その3カ年移動平均の経年変動をFig. 16に示した。1964年以降の27年間において、近海特定区域における動物プランクトン生物量の最高値は1976年の5.4×10⁶トン、最低値は1964年の1.9×10⁶トンで、その間に約2.8倍の差があった。各区域の平均生物量は親潮区域で1.7×10⁶トン、混合区域で1.9×10⁶トン、黒潮区域では0.3×10⁶トンで、総平均生物量は、約3.9×10³トンと推定された。親潮区域における生物量が混合区域とほぼ等量であるのは、親潮区域の占有面積が小さく、相対的に混合区域の占有面積が大きかっ

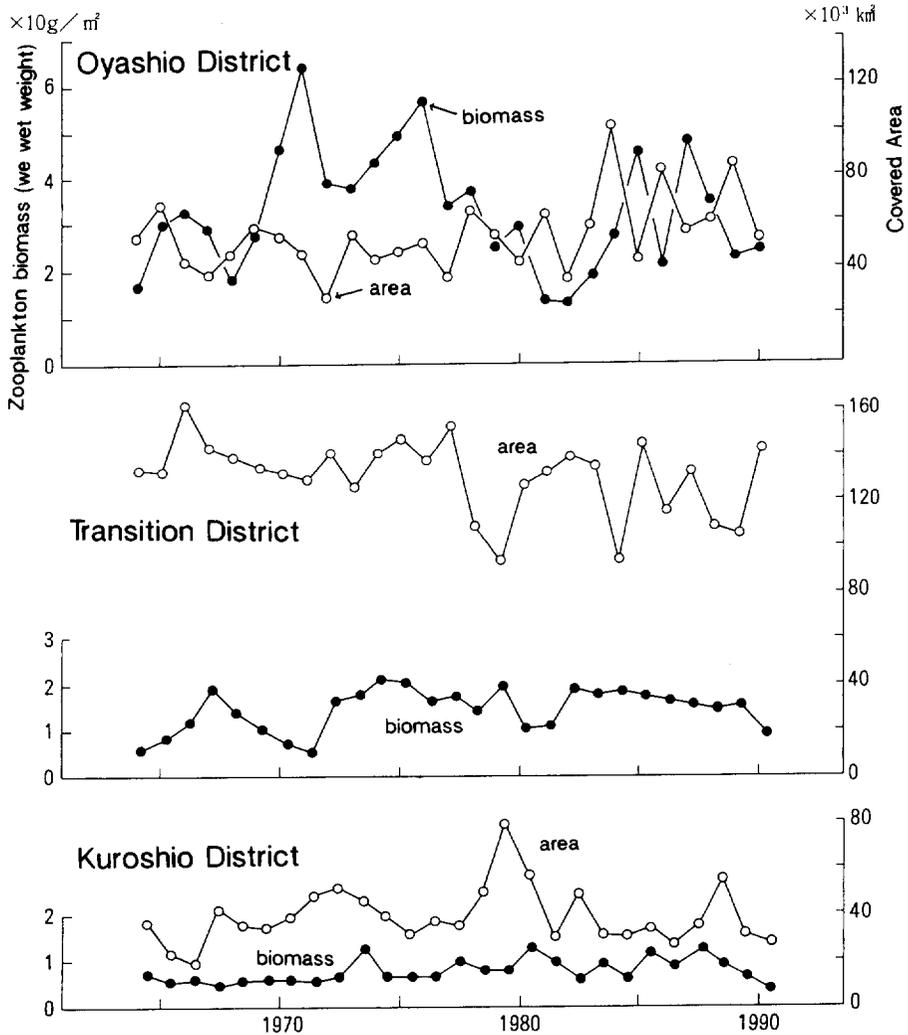


Fig. 14 Year to year change of zooplankton biomass and the covered area in each district from 1964 to 1990.

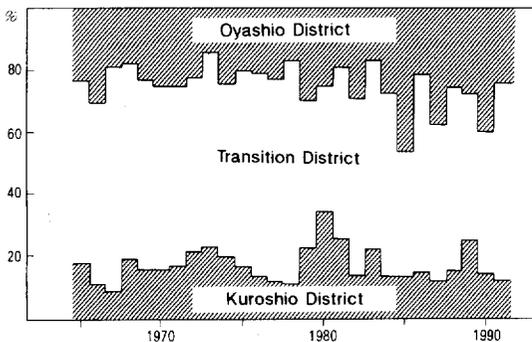


Fig. 15 Percent of the covered area in each district in June from 1964 to 1990.

たことに起因している。すなわち、この27年間における6月の親潮区域の平均現存量は 32.6 g/m^2 で、混合区域の 14.3 g/m^2 に比べ2.3倍であったにもかかわらず、平均占有面積は逆に $54.7 \times 10^3 \text{ km}^2$ (24.35%)と $103.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ (58.11%)で、約1/2であった。黒潮区域の平均現存量は 7.4 g/m^2 と親潮区域の1/4以下であり、平均占有面積も $39.4 \times 10^3 \text{ km}^2$ (17.53%)と狭かったため、生物量も極めて少なく、親潮・混合区域の1/6程度に過ぎなかった。

一方、ここで生物量を算定した1964年以降は、動物プランクトン現存量の長期変動 (Fig. 12) における第II期高水準期 (1965~1978年) 以降に相当する。その

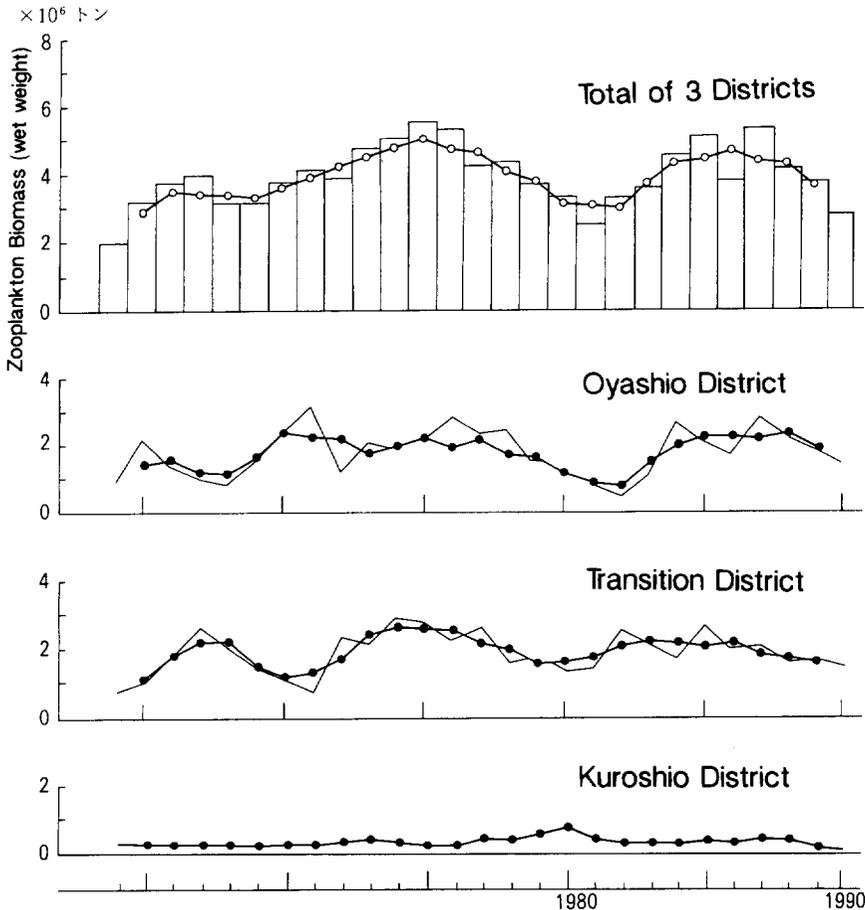


Fig. 16 Long-term variability of zooplankton biomass in June indicated by 3 years running mean from 1951 to 1990.

うち、親潮区域における生物量の経年変動は、1967・1968年はやや低かったが、その後1978年までの高水準期はほぼ第II期に相当し、1982・1983年の低水準年を経て第III期高水準期へと連なっている。混合区域においては、1969～1971年の低水準期が親潮区域の高水準期の初期に相当したが、その後は第II期に一致しており、第III期相当期間は横這い状態であった。したがって、親潮区域と混合区域の生物量の経年変動は、第II期の初期においてその位相はずれていたが、それ以後は現存量の経年変動 (Fig. 12) では明らかでなかった両域の同調性が、生物量の変動で認められるようになった。黒潮区域では、1980年の生物量がやや高いが、その水準が低いので経年変動に明瞭な傾向は認められなかった。

次に、近海特定区域内の生物量と占有面積または現存量との関連を検討したところ、親潮・混合・黒潮区域とも生物量と占有面積との間には、特定の傾向は認められなかった。しかし、生物量と現存量の間には顕著な正の相関関係が認められ、以下の一次回帰式が得られた。

$$\text{親潮区域: } Y = 0.045X + 0.243 \quad (r = 0.845)$$

$$\text{混合区域: } Y = 0.131X - 0.018 \quad (r = 0.886)$$

X: 動物プランクトン現存量, g/m²

Y: " 生物量, ×10³ トン

r: 相関係数

このうち、親潮区域においては、例外的に、1972年のように現存量が38.4 g/m²と高かったのに占有面積

が $29.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ と狭かったので生物量は 1.1×10^6 トンと少ない年と、1984年のように現存量が 26.4 g/m^2 と中位だったのに占有面積がこの期間では最大の $101.6 \times 10^3 \text{ km}^2$ もあったので生物量は 2.7×10^6 トンと極めて多い年があった。しかし、全体として、生物量は占有面積よりも、動物プランクトン現存量すなわち分布密度に従属していることが判った。東北海域の近海特定区域内における生物量の変動は、各区域の占有面積の変動よりも、低次生物生産の多寡に依存していることが示唆された。

6) 考察

東北海域における動物プランクトン現存量の季節変化について、1) 黒潮・混合・親潮域とも初夏の5月に極大となり、その量は親潮水域で著しく多いこと 2) 黒潮・混合水域においては、5月以降盛夏までに減少するが、晩秋の11月頃にやや増加すること 3) 親潮水域では夏季も高水準が続いて秋には減少するが、現存量は混合・黒潮水域よりも多いこと等の特徴が明らかになった

我が国の周辺海域において、動物プランクトン量の長期変動に関する総合的な研究は殆んどないが、鈴木(1988)は、東北海域の上流域に当たる潮岬～房総近海(東海海域)の $100 \times 10^3 \text{ km}^2$ 水域において、1953～1985年間に得られた動物プランクトン(マクロプランクトン)現存量(湿重量: g/m^2)の経年変動について解析した。この期間、現存量は最大の 9.79 g/m^2 (1976年)から、最小の 3.49 g/m^2 (1955年)まで変化し、総平均値は 6.30 g/m^2 であった。経年的には1963～1972年までの10カ年と、1976～1981年の6カ年の2つの高水準期が認められた。この調査は、主に丸特ネットを用いて水深150m層から採集した動物プランクトン試料であることから、本研究で取り扱った東北海域の試料の解析結果と直接比較できるものであり、総平均値の 6.30 g/m^2 は、東北海域の黒潮水域における総平均値 5.8 g/m^2 にはほぼ一致する。東海海域は東北海域の南部水域で接続し、黒潮が南から北に流動しているため、動物プランクトン現存量の変動にも連続性があるものと推定される。しかし、両水域の経年変化のパターンは必ずしも一致していない。東北海域の黒潮水域における動物プランクトン現存量は、1964～1983年の20年間にわたり微増傾向で推移し、潮岬～房総近海におけるような1973～1975年の減少期は見られなかった。また、潮岬～房総近海における動物プランクトン現存

量は、黒潮流軸の蛇行期後半から非蛇行期へかけて増大し、非蛇行期から蛇行期へかけて減少するとされ、黒潮流路の変動と大きく関連している(鈴木1988)。しかし、東北海域における黒潮水域は黒潮主流及びその北上分派に相当する水域であるから、その水域内では黒潮流路の変動の影響は受け難く、したがって現存量の変動も小さいと考えられる。いずれにしても、東北海域においては動物プランクトン現存量の多い混合水域～親潮水域におけるそれらの変動様式の解明が必要であり、特に親潮水域における長期変動に大きな影響を及ぼす要因として、物理・化学的環境の変動や動物プランクトンの種組成の変化等が重要であると考ええる。

本研究において東北海域の近海特定海区で算定した動物プランクトン生物量は、6月だけの推定値であり、かつ、その面積はここで取り扱った東北海域(東海沖から南千島沖水域に至る 160°E 以西)の総面積の5分の1程度に過ぎない。したがって、東北海域全域の動物プランクトン生物量の長期変動を検討するには、特に現存量の多い親潮水域がここで特定した区域の北東方に拡がっていることに留意して生物量を算定する必要がある。また、動物プランクトンの生活史および生態と関連して時系列的な積算も考慮しなければならない。しかし、現存量と各区域の占有面積から算定した生物量(ton/area)は、現時点で東北海域における低次生物生産量の目安となろう。また、動物プランクトン生物量は、近海特定区域内では親潮・混合・黒潮区域の占有面積よりも、現存量(g/m^2)すなわち分布密度とよい相関関係を示したことから、現存量は浮魚類の餌料条件等を評価するに当たっての指標として利用し得るであろう。

4. 動物プランクトンの出現種

1) 種組成

東北海域において、丸特ネットによって採集した前記試料(Table 2)のうち、同定された種をAppendix table 1に示した。出現種は7動物門にわたり(Table 5)、10綱、26目、76科、259種に類別された。その他、原生動物、甲殻類のノープリウス幼生、魚類の卵・稚仔および植物プランクトンも出現したが、この付表には記載していない。また、橈脚類の種名については、近年研究の進展につれて学名が改訂されているものもあるが(付表1の末尾参照)、本研究では従来の種名を用いた。

出現した種全体を通じてみると、節足動物 (Arthropoda) の甲殻綱が最も多く、全出現種 259 種中の 69.8% (181 種) を占めた。その内訳は、橈脚亜綱のカラヌス類 (Calanoida) が最も多く、次いで軟甲亜綱の端脚類 (Amphipoda) とオキアミ類 (Euphausiacea) が多かった。

甲殻綱 (Crustacea)		
橈脚亜綱 (Branchiopoda)	6 種	3.31%
貝形亜綱 (Ostracoda)	5 種	2.76%
橈脚亜綱 (Copepoda)	131 種	72.38%
軟甲亜綱 (Malacostraca)	39 種	21.55%
計 181 種		100.00%

1 回の曳網で採集された動物プランクトン試料の出現種数は、少なかつたものでも 30 種程度、最も多い試料は 90 種にも及んだが、通常は 40~50 種であった。親潮・混合・黒潮水域における種組成を把握するために、1978 年 5 月 12~22 日に常磐・三陸沖合水域の 45 点 (Fig. 17) で採集した動物プランクトンの出現率 (出現回数/曳網回数×100, %) と種組成率 (種个体数/総个体数×100, %) を Fig. 18 に示した。この時、全水域で計 73 種が出現した。水域別には親潮水域で 33 種、混合水域で 56 種、黒潮水域では 50 種であった。

親潮水域で特徴的に出現し、出現率 50% 以上で種組成率も高い種は、*Pseudocalanus minutus*, *Eucalanus bungii*, *Calanus plumchrus*, *Metridia pacifica*, *Sagitta elegans*, *Calanus cristatus*, *Scolecithricella minor* 等であり、これらはこの水域の固有種である (田中 1957, OMORI and TANAKA 1967, 箕田 1980)。一方、黒潮水域では親潮水域よりも出現種数は多いが、黒潮水域に出現した 40 種の中で、混合水域にも出現した 28 種を

除くとこの水域の固有種は 12 種であった。このうち、出現率および種組成率も高く黒潮水域の特徴を示す種は、*Oncaea venusta*, *Lucicutia flavicornis*, *Sagitta enflata*, *Scolecithrix danae*, *Calanus helgolandicus*, *Corycaeus speciosus*, *Mecynocera clausi*, *Neocalanus minor*, *Acrocalanus gracilis*, *Eucalanus mucronatus* の 10 種であった。混合水域には、親潮水域において出現率および種組成率の高かつた *Pseudocalanus minutus* から *Calanus finmarchicus* までの 15 種が、同様に高い割合で出現していた。この他、*Calanus tenuicornis*, *Euphausia pacifica*, *Evadne nordmanni* 等も高い割合で出現した。また、黒潮水域において高い出現率を示した *Sagitta enflata*, *Calanus helgolandicus*, *Corycaeus speciosus* 等もやや多く出現した。したがって、混合水域には、親潮、黒潮の両水域に出現する種が入り混じって分布することになる。また、東北海域において親潮、混合、黒潮の全水域にわたって出現する種は 10 種あり、中でも *Paracalanus parvus*, *Oithona plumifera*, *Limacina inflata* の親潮、黒潮の両水域における出現率は 50% 以上で種組成率も高く、これらは東北海域全域に分布する共通種と言えよう。

この他、東北海域において、親潮水域を代表する種として、橈脚類の *Pseudocalanus minutus*, *Eucalanus bungii*, *Calanus plumchrus*, *Metridia pacifica*, *Calanus cristatus*、矢虫類の *Sagitta elegans*、水母類の *Aglantha digitale*、端脚類の *Themisto japonica* やオキアミ類の *Euphausia pacifica* 等の典型的な冷水性種がある。特に *Euphausia pacifica* は初春の候、三陸~常磐沿岸水域で濃密なパッチを形成して漁業の対象となっているが、丸特ネットによる採集では、東北海

Table 5 Classification of zooplankton occurred in the Tohoku Sea Area by the samples from 1951 to 1990 marked with an asterisk in table 2.

	Phylum	Sub-phylum	Class	Sub-class	Super-order	Order	Sub-order	Super-family	Family	Species
Coelenterata	1		2			4	5		9	19
Ctenophora	1		2			2			3	5
Annelida	1		1			1			3	6
Mollusca	1	1	1	2		2	4		8	22
Arthropoda	1		1	4	1	11	7	2	46	181
Chaetognatha	1		1			2	1		3	9
Protochordata	1	1	2	1		4			4	17
Total	7	2	10	7	1	26	17	2	76	259

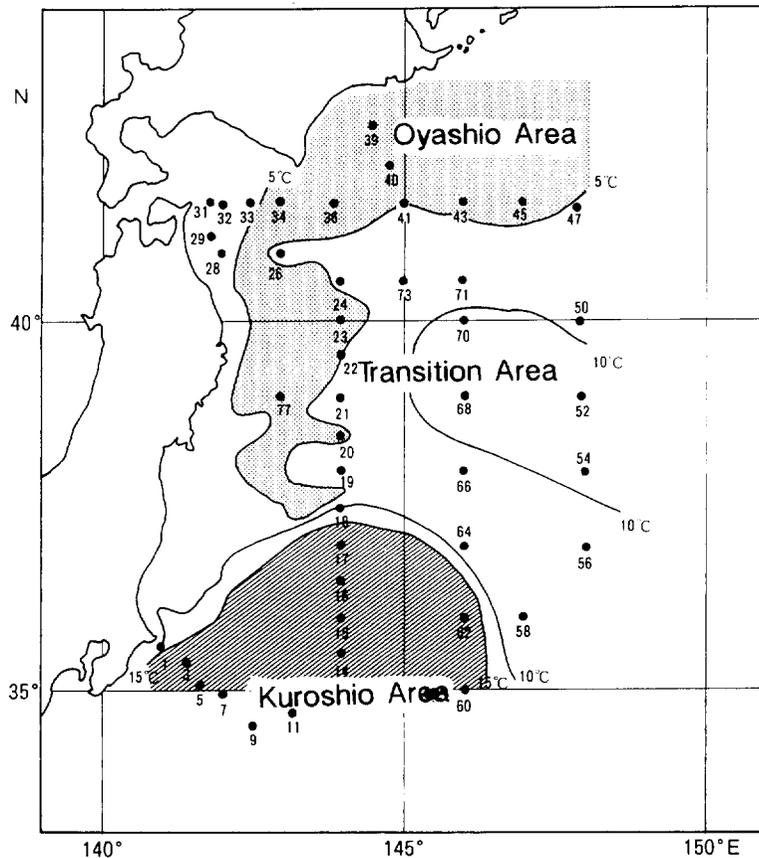


Fig. 17 Location of the sampling stations and hydrography during the Soyoamaru cruise in May 1978. Zooplankton samples were collected to observe the occurrence of the dominant species of zooplankton showed in fig. 18.

域の沖合に広く分布している種である(小達 1991b)。黒潮水域では、橈脚類の *Oncaea venusta*, *Lucicutia flavicornis*, *Scolecithrix danae*, *Calanus helgolandicus*, *Corycaeus speciosus*, *Mecynocera clausi*, *Neocalanus minor*, *Acrocalanus gracilis*, *Eucalanus mucronatus* 矢虫類の *Sagitta enflata*, うみたる類の *Doliolum denticulatum*, 異足類の *Atlanta inclinata*, 端脚類の *Phrosima semilunata* 等の暖水性種が出現している。そして、親潮水域と黒潮水域において高い出現率と種組成率を示す種は、それぞれの水域の固有種であって、3 水域の共通種を除き、互いの水域に侵入することはない(木村・小達 1957, 小達 1962, 1980)。

東北海域で採集され、同定された動物プランクトンのうち、56 種を平均出現個体数(個体/m²)の多い順に表 6 に示し、分布密度の指標とした。これら主要種の

うち、最も出現個体数が多い *Paracalanus parvus* (5,886 個体/m²) は、親潮・混合・黒潮水域の全地点で出現した。続く *Metridia pacifica*, *Pseudocalanus minutus*, *Calanus finmarchicus* の 3 種はいずれも冷水性種である。2,000~1,000 個体/m² の種は、*Acartia clausi* から *Calanus plumchrus* まで 8 種あり (No. 7~14), 冷水性種と暖水性種が入り混っていた。1,000~500 個体/m² では *Evadne nordmanni* から *Eucalanus macronatus* まで 7 種 (No. 15~21), 500~100 個体/m² は *Scolecithricella minor* から *Undinula darwini* まで 19 種 (No. 22~40) の多様な種が含まれ、さらに、100 個体/m² 以下では *Pleuromamma xiphias* から *Copilia mirabilis* まで 16 種 (No. 41~56) もあった。

以上のことから、単位面積 (m²) 当たり平均出現個体数が 500 個体以上である種を東北海域における動物

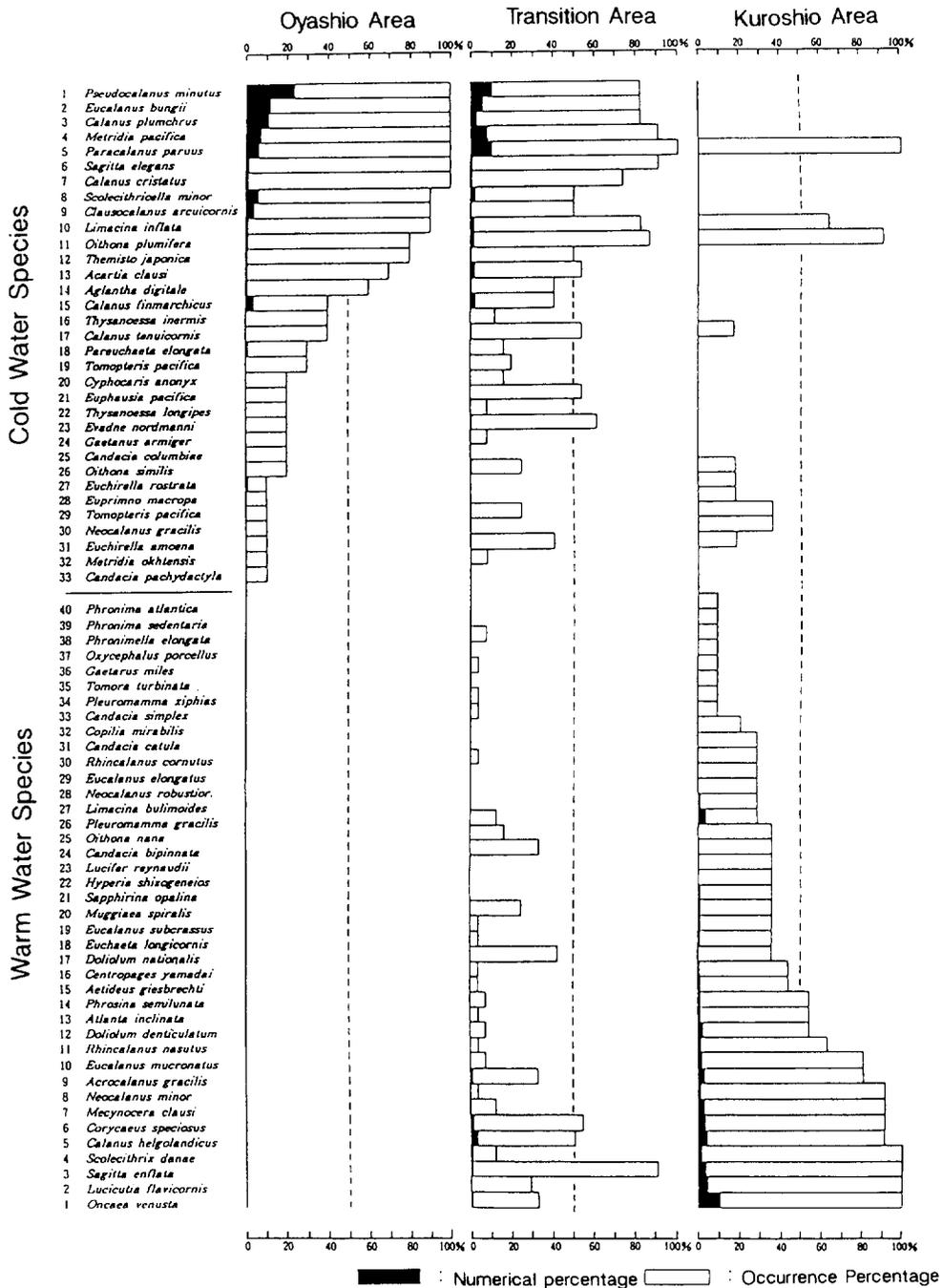


Fig. 18 Occurrence of the dominant species of zooplankton during the Soyo-maru cruise in the Tohoku Sea Area in May 1978.

Table 6 Average number and ranking of the dominant species of zooplankton occurred in the Tohoku Sea Area by the samples from 1951 to 1989 marked with an asterisk in table 2.

Ranking	Species	Average number of occurrence (n/m ²)	Ranking	Species	Average number of occurrence (n/m ²)
1 ○	<i>Paracalanus parvus</i>	5,886	31 ●	<i>Centropages abdominalis</i>	211
2 ●	<i>Metridia pacifica</i>	3,558	32 ○	<i>Euchaeta marina</i>	195
3 ●	<i>Pseudocalanus minutus</i>	3,091	33	<i>Acalanus attenuatus</i>	151
4 ●	<i>Calanus finmarchicus</i>	2,887	34 ●	<i>Themisto japonica</i>	140
5	<i>Clausocalanus arcuicornis</i>	2,836	35 ○	<i>Euchirella rostrata</i>	127
6 ○	<i>Limacina inflata</i>	2,824	36	<i>Euchirella rostrata</i>	127
7 ○	<i>Acartia clausi</i>	1,991	37	<i>Heterorhabdus papilliger</i>	117
8 ○	<i>Calanus helgolandicus</i>	1,933	38	<i>Rhincalanus cornutus</i>	108
9	<i>Mecynocera clausi</i>	1,401	39 ○	<i>Temora discaudata</i>	105
10 ○	<i>Oithona plumifera</i>	1,315	40	<i>Undinula darwini</i>	102
11 ●	<i>Eucalanus bungii</i>	1,127	41	<i>Pleuromamma xiphias</i>	82
12 ○	<i>Oncaea venusta</i>	1,113	42 ○	<i>Aetideus giesbrechti</i>	71
13 ○	<i>Corycaeus speciosus</i>	1,057	43 ○	<i>Salpa fusiformis</i>	60
14 ●	<i>Calanus plumchrus</i>	1,024	44 ○	<i>Sapphirina opalina</i>	58
15 ●	<i>Evadne nordmanni</i>	840	45 ●	<i>Sagitta elegans</i>	55
16	<i>Pleuromamma gracilis</i>	836	46 ○	<i>Euprimno macropa</i>	47
17	<i>Acrocalanus gracilis</i>	716	47 ●	<i>Aglantha digitale</i>	41
18	<i>Lucicutia flavicornis</i>	676	48	<i>Candahda bipinnata</i>	40
19 ○	<i>Doliolum nationalis</i>	610	49	<i>Scottocalanus helenae</i>	37
20 ●	<i>Calanus cristatus</i>	594	50 ●	<i>Cyphocaris anonyx</i>	34
21 ○	<i>Eucalanus mucronatus</i>	501	51 ○	<i>Labidocera japonica</i>	34
22 ●	<i>Scolecithricella minor</i>	436	52 ○	<i>Sagitta enflata</i>	32
23	<i>Neocalanus minor</i>	428	53	<i>Lucifer reynaudii</i>	28
24	<i>Calanus tenuicornis</i>	36	54 ●	<i>Euphausia pahifica</i>	26
25	<i>Rhincalanus nasutus</i>	328	55 ●	<i>Tomopteris pacifica</i>	15
26 ○	<i>Scolecithrix danae</i>	292	56 ○	<i>Copilia mirabilis</i>	12
27	<i>Muggiaea atlantica</i>	291			
28 ○	<i>Perilia schmackeri</i>	289			
29 ○	<i>Pleuromamma abdominalis</i>	234			
30	<i>Atlanta inclinata</i>	223			

● : Cold water species

○ : Warm water species

プランクトンの重要種とすれば、*Paracalanus parvus* から *Eucalanus mucronatus* までの 21 種が該当する。さらに、1,000 個体以上とすれば、*Calanus plumchrus* までの 14 種に限定されてくる。しかし、これら重要種の大きさは様々であり、これらの生物量を評価するためには、出現個体数とともに、種ごとの個体の重量を考慮する必要がある。

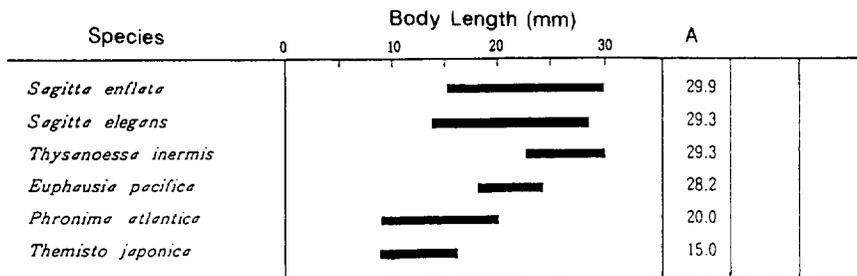
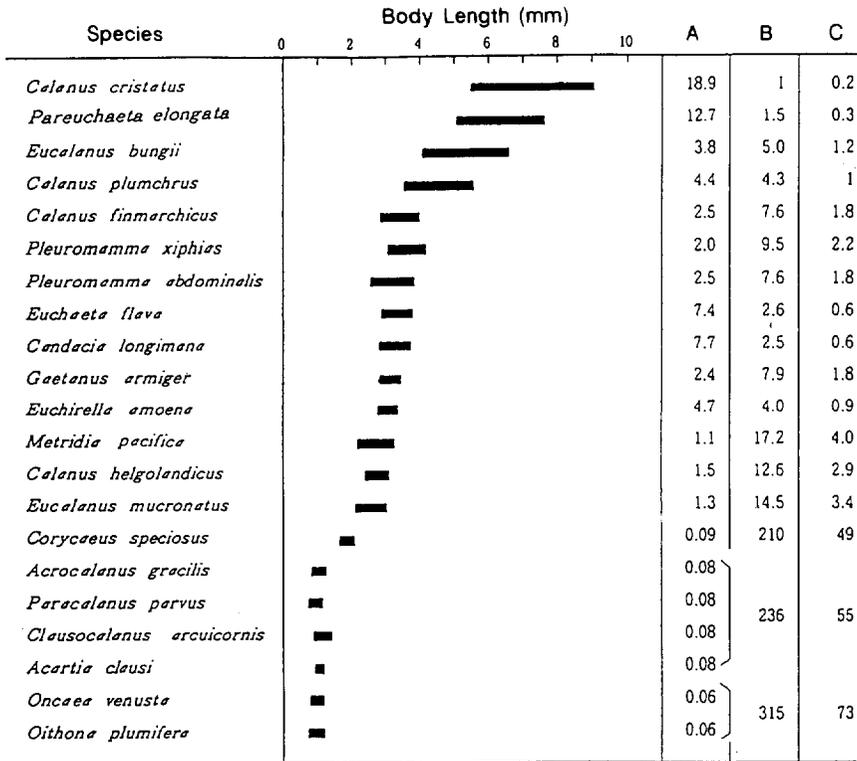
2) 出現種の体長と体重

この調査で使用してきた丸特ネットの網目は、0.33 mm であるから、基本的には 30~60 μm 以下とされる微小プランクトン (nanoplankton) が採集されることは少ない。また、橈脚類のノウプリウス幼生 (nauplius) のような小型のものは、網目から逸脱する可能性がある。

東北海域で採集された動物プランクトンの大きさ

は、300 μ m 後の橈脚類の幼生から数 10 cm に達するクラゲ類まで、その形態や大きさも様々であった。動物プランクトンの種別の現存量や生物量を把握するために、主要出現種についてその体長と体重を計測し、それらの体長範囲と平均体重、および *Calanus cristatus* と *Calanus plumchrus* 1 個体に相当する他種の個体数を Fig. 19 に示した。計測した 21 種の橈脚類で、平均

体長 1 mm 以下の小型種は *Acrocalanus gracilis* から *Oithona plumifera* まで 6 種、平均体長 3~4 mm のものは *Pleuromamma abdominalis* から *Eucalanus mucronatus* まで 8 種、その中間に *Corycaeus speciosus* があつた。平均体長 4~5 mm は *Calanus plumchrus* 等の 4 種、5 mm 以上の大型種は、*Calanus cristatus* と *Pareuchaeta elongata* の 2 種であつた。



A: Average Body Weight (mg)

B: Individual Number Equivalent of *Calanus cristatus*

C: Individual Number Equivalent of *Calanus plumchrus*

Fig. 19 Body length and body weight of the dominant species of zooplankton occurred in the Tohoku Sea Area.

Fig. 19 に示した橈脚類のなかで、1 個体の重さが最も大きい *Calanus cristatus* の体重を 1 とし、他種の体重比をみると、平均体長 3~6 mm 前後の中型グループで 3~10 個体、3 mm 前後の小型種では約 15 個体、0.8 mm 前後の極小型グループでは 236~315 個体に相当する。Fig. 19 の下段に記載した *Euphausia pacifica*, *Thysanoessa inermis*, *Themisto japonica*, *Phronima atlantica* 等も体長・体重が大きく、上記極小型種の数百個体分に相当する大型種である。そこで、出現個体数の順位を示した Table 6 のなかで、出現個体数 500 個体以上の 21 種について、*Calanus cristatus* の体重を基準として、それに相当する種ごとの体重比を用いてそれぞれの種の個体数を補正し、重要度の順位を組み換えた。すなわち、出現個体数の高い種について、*Calanus cristatus* の重量に換算した場合の順位である。この結果、*Calanus cristatus* 100 個体以上に換算される種は、*Calanus cristatus* (594 個体) を第 1 位として、*Calanus finmarchicus* (379 個体)、*Calanus plumchrus* (238 個体)、*Eucalanus bungii* (225 個体)、*Metridia pacifica* (206 個体)、*Calanus helgolandicus* (153 個体)、*Themisto japonica* (108 個体) の順となり、これら 7 種が東北海域における現存量としての重要種と評価された。個体数では第 1 位であった *Paracalanus parvus* は小型種であるため、その総出現個体数は 5,886 個体でも現存量は *Calanus cristatus* 24 個体分に過ぎず、現存量としての重要度は低かった。平均個体数では 1,000 個体以上と順位の高かった *Acartia clausi*, *Mecynocera clausi*, *Oithona plumifera*, *Oncaea venusta*, *Corycaeus speciosus* 等の出現個体数で 56 位以内にある橈脚類の主要種も、小型種であるために、現存量としては低位にあった。したがって、東北海域における動物プランクトン現存量および生物量の変動には、出現個体数で上位の種よりも現存量で上位の種が大きく影響するとともに、この海域に来遊して動物プランクトンを捕食する小型浮魚類の餌料資源としても、現存量で上位の種が重要な関わりを持つことになる。

東北海域における現存量としての 7 種の重要種について、その平均出現個体数の季節変化を Fig. 20 に示した。東北海域における動物プランクトン現存量は、初夏のピークから漸減し、北部では夏季も高水準が持続するが、南部水域では夏の減少期を経て晩秋に小さなピークが見られるという季節変化を示す。*Calanus cristatus*, *Calanus plumchrus*, *Eucalanus bungii* 等

は、初夏の 5 月または 6 月のピークから次第に減少し、前章で述べた現存量の季節変化 (Fig. 10) と同様な変動傾向であった。*Metridia pacifica* は 5 月と 9 月にもピークがあり、*Calanus finmarchicus* は 5 月の大量出現から急速に減少し、夏には殆んど見られなくなった。*Calanus helgolandicus* は不規則であるが秋まで出現し、*Themisto japonica* は初夏の候は少なく、8 月にピークが見られた。

3) 考察

海洋における植物・動物プランクトンの種組成は、地理的条件、海流系、水温等の海域の性状によって大きく変化する (元田 1944, 箕田 1976, 丸茂 1980)。ベーリング海において、元田・箕田 (1972) は、1956~1970 年の夏季の 15 年間に NORPAC ネットで採集されたプランクトン試料を分析し、この海域における植物プランクトンは 74 種、動物プランクトンは 221 種が出現するとした。そのうち、橈脚類が 110 種と最も多く、なかでも 27 種は夏季に水深 200 m 以浅の上層に分布する。そして、最も重要な種は *Calanus plumchrus*, *Calanus cristatus*, *Eucalanus bungii*, *Metridia pacifica* 等の北方外洋性種で、これらは夏季ベーリング海中西部水域に広く分布している (MINODA 1958, 1971, 箕田 1977)。東北海域においても、夏季の三陸~北海道東~南千島沖の親潮水域には、ベーリング海中西部水域の出現種と同一種が卓越して出現し、両海域の水系的な連続性が示唆される。

一方、海洋において採集される動物プランクトンの種組成は、種それ自体の生物学的・生態学的特性と深く関わっている。すなわち、再生産様式の違いや発育に伴う鉛直移動等によって、水深 150 m 以浅の表層では採集されない種もある。ベーリング海においては、水深 200 m 以浅の上層に出現する 27 種のうち *Acartia longiremis* は常に上層に棲み、下層には下らない。また、移行層 (200~500 m) または水深 500 m より深層に出現する 22 種は、さらに下層の水深 2,000 m 付近までも分布している (元田 1972, 元田・箕田 1972)。そして、*Calanus plumchrus* のコペポダイト第 IV 期幼生は水深 140 m 付近、第 V 期幼生は水深 280 m 以浅に分布するが、成体はそれ以深である。また、*Calanus cristatus* の幼生は水深 140 m 層まで現われるが、成体は水深 560 m 以深に分布するという。北海道の沿岸域においては、*Calanus plumchrus* は親潮系水の影響が増す 2 月頃から夏季まで出現するが、時期の進むにつ

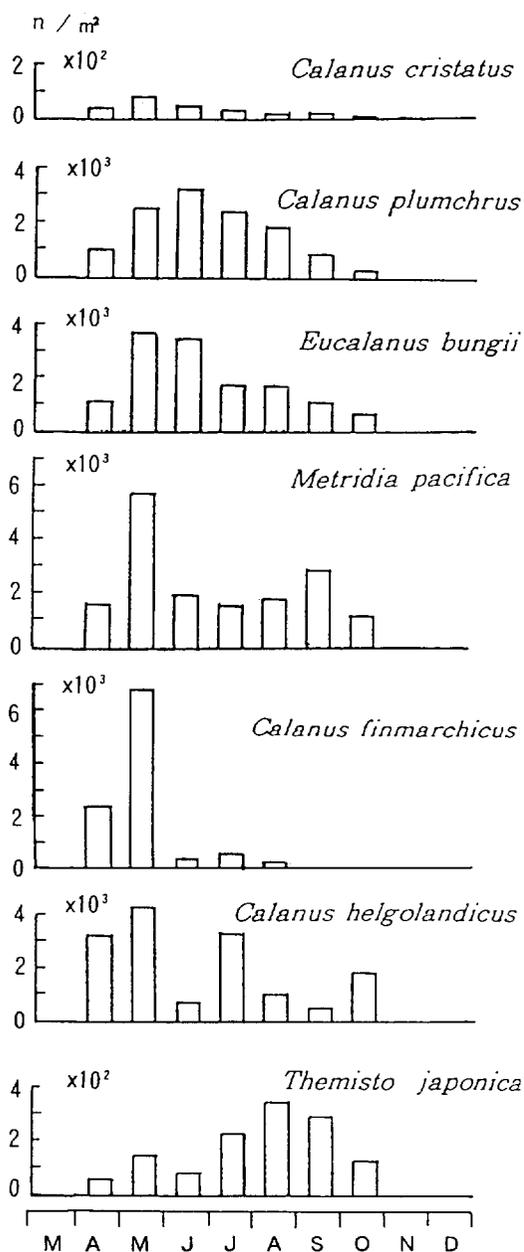


Fig. 20 Seasonal changes of the occurrence (number/m²) of 7 dominant species of zooplankton in the Tohoku Sea Area.

れて発育の進んだ個体が多くなり、5月には成体が現われる。そして、盛夏になると沿岸域から消失するが、これは成長に伴って深層へ移動するためであると考えられている(箕田 1984)。

一方、東北海域においては、動物プランクトン現存量の重要構成種である *Calanus cristatus* や *Calanus plumchrus* は、5月に常磐・三陸の近海から沖合へかけて爆発的に出現し、6~8月には北海道東~南千島水域に多く分布する。その後、盛夏から秋へかけて動物プランクトン現存量が減少するという季節変化を示すが、この要因としてこれらの再生産様式との関連が考えられる。冷水性の大型種である *Calanus cristatus* や *Calanus plumchrus* は、冬から春に産卵して(FULTON 1973)、6月にはコペポダイト第V期幼生まで成長するので、その現存量は増加する。三陸沖では未成体はひき続き表層で生活しているが、成体になると性成熟が進行するにつれて下層へ沈降するので、水深150m層から曳網する丸特ネットでは採集され難くなる。一方、*Calanus cristatus* や *Calanus plumchrus* が減少する夏季には、*Eucalanus bungii* や *Metridia pacifica* 等が産卵群として水深150m以浅に出現し、現存量の高水準を維持するのに寄与している。このような現象は、生物が種保存のために種間の競争を避けるために起きると報告されている(箕田 1980)。これらの冷水性大型種は1個体の重さが大いので、動物プランクトン現存量が5月のピークから夏季にかけて高水準を維持する主要因となっている。これに比べて中型暖水性種の *Eucalanus mucronatus* は、常磐水域では重要種であるが、東北海域からみると分布が南部に偏っており、*Paracalanus parvus* は広域種であっても三陸以北の水域での分布が少なく、かつ小型種であるため、北部水域においては現存量に占める割合も低い。このような種は浮魚類の索餌場における餌料生物としての寄与は小さいものと考えられる。したがって、現存量の季節変化には種の生物学的・生態学的特性が関与しているので、この海域における動物プランクトンの種組成が現存量を解析する重要な条件となる。そして、その動向は索餌のためにこの水域に来遊する浮魚類にとって重要な係わりを持つことになる。

5. サンマと動物プランクトン

1) サンマの餌料種

東北海域に来遊する表層回遊性の小型浮魚類のう

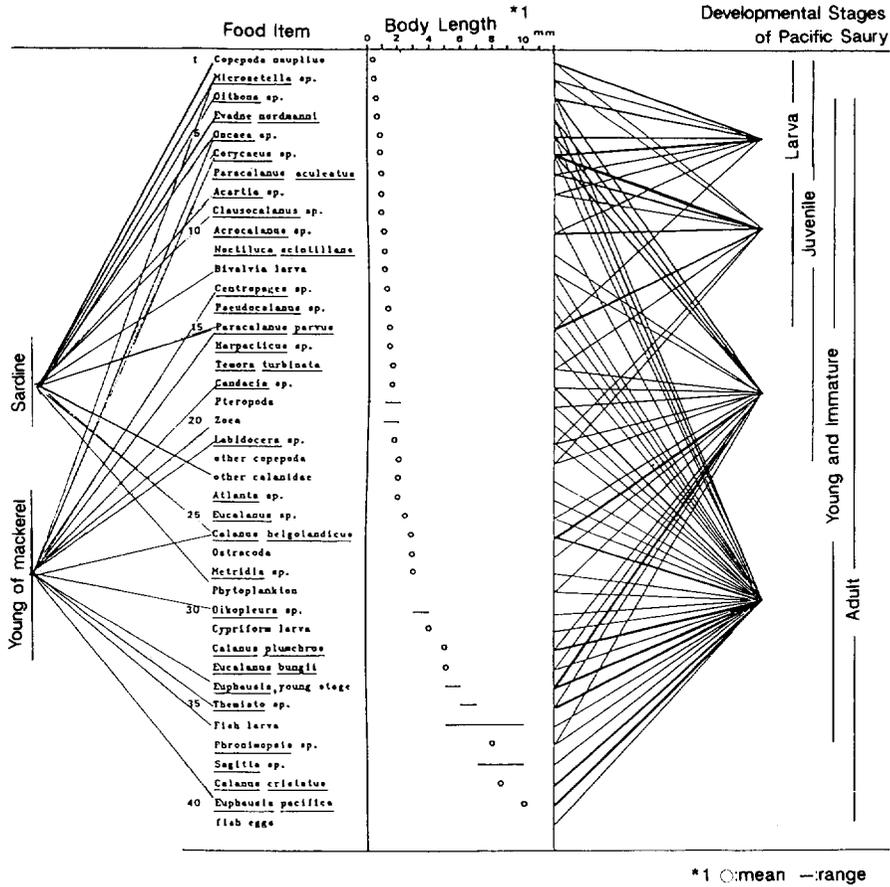


Fig. 21 Food items of sardine, mackerel and pacific saury migrating to the Tohoku Sea Area for feeding.

ち、資源量が極めて大きいマイワシ・サンマ・マサバは、春から夏にかけてこの海域で大增殖する植物プランクトンや動物プランクトンを主要な餌料として捕食するため、季節的に回遊してくる（小達 1977, 高ら 1982, 飯塚 1987, 吉田 1987）。東北海域におけるこれら 3 魚種とその餌生物種との関係を Fig. 21 に示したが、それぞれの食地位はやや異なっている。マイワシの主要な餌料種は *Microsetella* sp., *Oithona* sp., *Evadne nordmanni*, *Oncaea* sp., *Corycaeus* sp., *Paracalanus parvus* 等であるが、マサバは幼魚でも *Centropages* sp., *Labidocera* sp., *Calanus helgolandicus*, *Euphausia pacifica*, *Themisto* sp. 等の比較的大型の動物プランクトン、あるいは魚類稚仔等を摂食している。サンマは亜熱帯水域の産卵場から親潮流域の成育場へと回遊するので、その発育段階によって捕食する動物プランクトンの種や大きさは変化

する。成魚期の索餌場は東北海道中～北部の三陸～北海道東～南千島沖水域であり、東北海道における高い生産力を最大限に利用して成育する魚である。

小達 (1977) および ODATE (1977) によれば、北西太平洋系群のサンマは冬季本州太平洋南方の黒潮反流域から黒潮統流域へかけての亜熱帯水域で生まれ、春季に暖流の北上とともに東北海道の混合水域へと移動し、稚・幼魚期をここで過ごす。さらに発育段階が進んで未成魚期になると、親潮前線を越えて餌となる動物プランクトンの豊富な親潮水域へと回遊し、それらを飽食して栄養を蓄積する。そして、秋季に水温の下降とともに南下し、産卵回遊へと移行する。このような回遊過程のなかで、発育段階が進むにつれて生息環境が変化するとともに、捕食する動物プランクトンの種類組成も変化する。サンマの各発育期における主要な餌料種を図 21 に示したが、その概要は次のとおりで

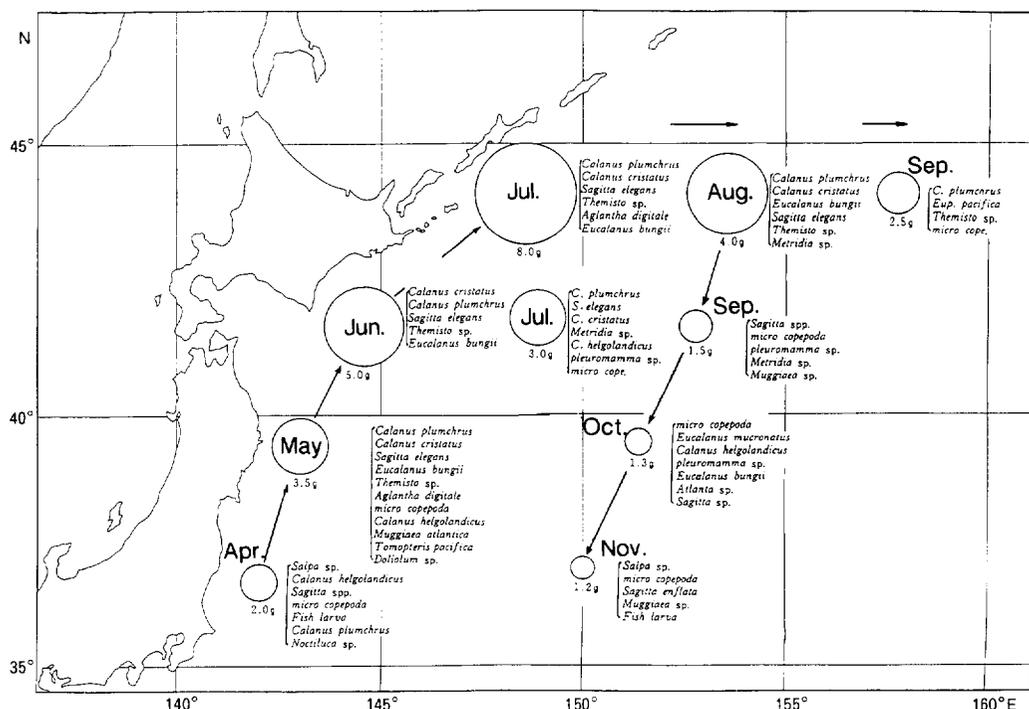


Fig. 22 Changes of the zooplankton biomass (wet weight, g/net) and the dominant species of zooplankton in the Tohoku Sea Area according to the feeding migration of pacific saury.

ある。

[卵期 (Egg stage)] サンマは卵内で殆んど卵黄を吸収してから孵化するため、孵出直後(体長約6mm)から摂餌活動を開始する。

[仔魚期 (Larval stage: 体長25mm以下)] その小さな消化管内に、橈脚類のノウブリウス幼生とともに、*Oithona* sp., *Oncaea* sp., *Corycaeus* sp.等の小型プランクトンが充満しているのが観察される。これらは仔魚期の生活域である東海沖水域の動物プランクトン組成を反映して、すべて暖水性小型種である。

[稚魚期 (Juvenescence stage: 体長25~60mm)] 千葉県野島崎東方に形成される黒潮前線を越えて、北側の混合水域が主要な生活の場となり、*Corycaeus* sp., *Paracalanus aculeatus*, *Acrocalanus* sp., *Paracalanus parvus*等の暖水性小型種を主体に、*Temora turbinata*, *Labidocera* sp.等のやや大きい種も捕食している。

[幼魚期 (Young stage: 体長60~150mm)] 餌料種はさらに多様化し、20種類ほどに増加する。しかし、まだ *Oithona* sp., *Corycaeus* sp.等の小型橈脚類に依存する割合が高いが、*Evadne nordmanni*, *Calanus helgolandicus* やオキアミ類の幼生等も捕食するようになる。餌料種は混合水域に分布する種を主体に、次第に大型種へ移行して行く。

[未成魚期 (Immature stage: 体長200mm前後)] 稚・幼魚期に摂食していた暖水性小型種は少なくなり、中・大型の橈脚類の他に翼足類、二枚貝幼生(*Bivalvia* larva)や端脚類の *Themisto* sp.等も出現し、消化管内の出現種が幼魚期に比べて大きく変化する。また、生活の場が混合水域から親潮水域へと移行し、冷水性種である *Calanus plumchirus* 等も捕食されるようになる。

[成魚期 (Mature stage)] さらに餌料種が多様化するとともに、大型プランクトンが主体となる。夏の北海道東方水域では、餌料種は橈脚類の *Calanus cristatus*, *Calanus plumchirus* や端脚類の *Themisto*

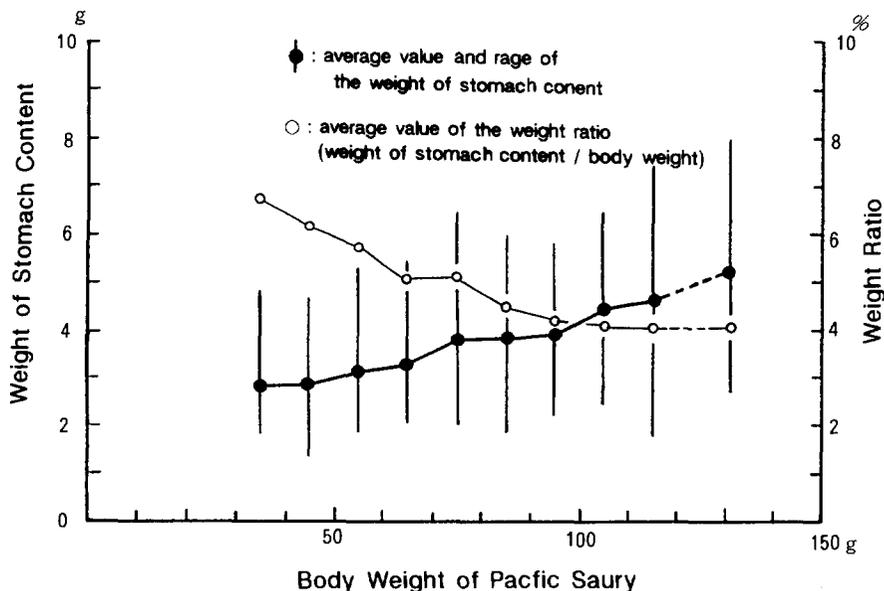


Fig. 23 Relationships between the body weight of Pacific saury and its stomach content weight, and between the body weight of Pacific saury and the ratio of the stomach content weight to the body weight of Pacific saury.

japonica, オキアミ類の *Euphausia pacifica* 等を主体とした冷水性の大型種で占められるようになる。消化管内の出現比, 重量比からみて主要種は数種に限定されてくるが, なかでも *Calanus plumchrus* と *Calanus cristatus* が最も重要な種であり, これらが分布する親潮水域がサンマ成魚の主要な索餌場である (小達 1977, 高ほか 1982)。

サンマの北上→索餌→南下回遊域における動物プランクトン卓越種の分布を Fig. 22 に示した。サンマの主要な再生産の場である本州東方の黒潮前線以南の暖水域では, 動物プランクトンは量的には少ないが, 小型で多様な種が分布し, サンマが発育初期の仔魚期から稚魚期を過ごすのに好適な餌料環境となっている。その後, 幼魚期になって黒潮前線以北の混合水域に回遊すると, 餌料種の多様化とともに, より大きい餌料種を捕食するようになる。動物プランクトン採集量は (g/net), サンマ幼魚・未成魚の北上初期に相当する 4 月の常磐沖では小型橈脚類を主体に 2.0 g/net と少ないが, 5 月に三陸沖に移ると *Calanus plumchrus* や *Calanus cristatus* 等の冷水性大型種が増え, 3.5 g/net となる。6 月の北海道東沖では三陸沖と同様な種組成で, 採集量は 5.0 g/net に増加する。さらに成長すると,

親潮前線を越えて本格的な索餌場である親潮水域に移動し, 冷水性の大型動物プランクトンを飽食して, 南下産卵回遊に移るために栄養を蓄積する。サンマの主要な索餌水域となる南千島沖では, 7 月には最高の 8.0 g/net にもなり, 種組成も *Calanus plumchrus* や *Calanus cristatus* 等が主体を占める。この水域での索餌は秋まで続くが, 9 月になると表層では動物プランクトン量が次第に減少し, この時期はサンマが南下回遊に移行する時期と一致した。南下回遊期の北海道東～三陸～常磐水域では, 動物プランクトンの種組成は変化し, 採集量も 1.0 g/net 程度まで減少した。

三陸沖～北海道東～南千島沖の索餌水域におけるサンマ 1 個体当りの消化管内容物重量と体重比を Fig. 23 に示した。この時期のサンマ (体長 19～31 cm, 体重 29～145 g) の消化管内容物重量は, 体重 50 g 前後の個体で平均 3 g 程度 (範囲 2～5 g) であり, 体重が大きくなるに従って消化管内容物重量も増加する。体重 100 g の個体では平均 4 g 程度になるが, 個体差が大きく 2 g 位から最高 8 g まで摂食していた。これをサンマの体重比でみると, 小型魚では平均 7% 程度であるが, 大きくなるにつれて消化管内容物重量とは逆に体重比は減少し, 大型魚では 4% 程度になり, 小型魚ほど体重に比べて消化管内容物重量が多かった。秋に

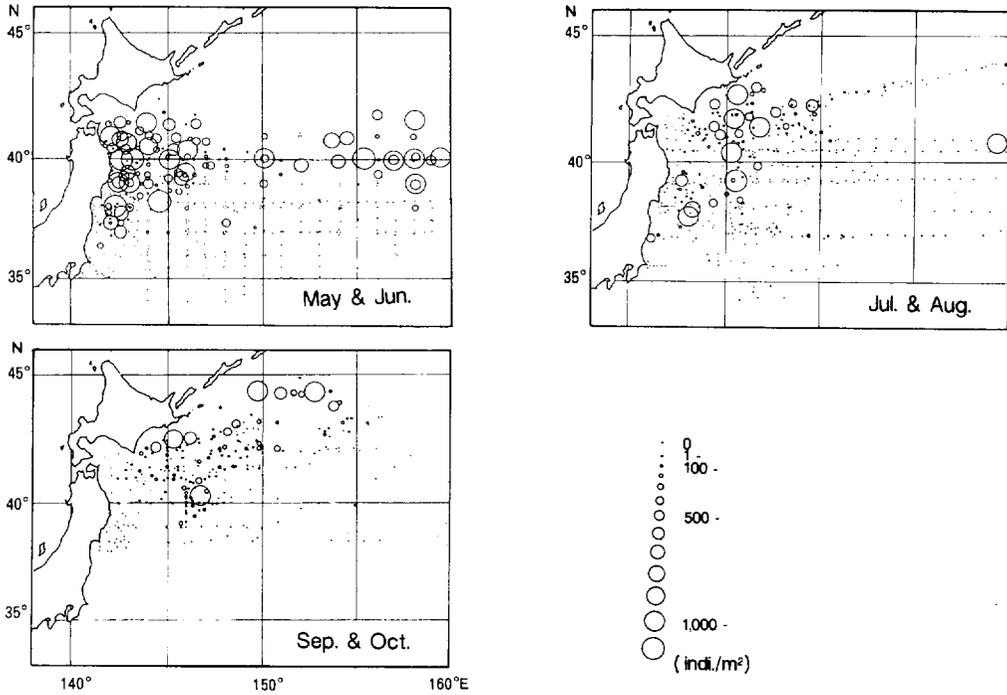


Fig. 24 Distribution of *Calanus cristatus* in the Tohoku Sea Area by the samples from 1951 to 1990 marked with an asterisk in Table 2.

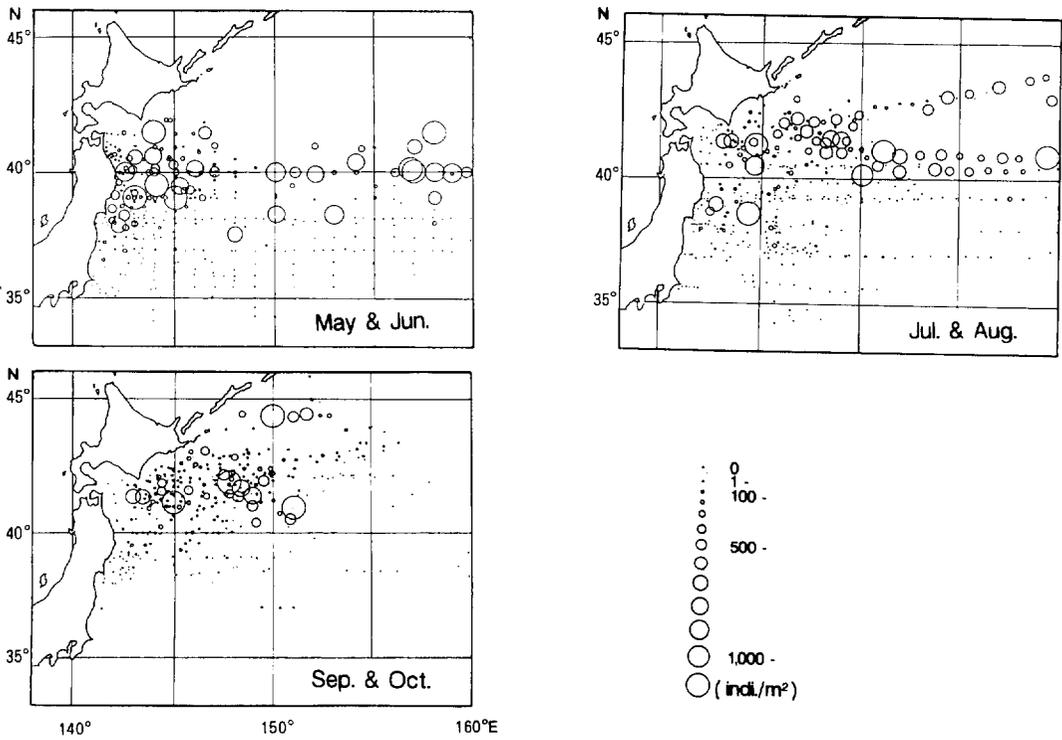


Fig. 25 Distribution of *Calanus plumchris* in the Tohoku Sea Area by the samples from 1951 to 1990 marked with an asterisk in Table 2.

なって南下回遊に移行し、北海道東沖の親潮水域から三陸沖の混合水域に移動してきたサンマは、摂食する動物プランクトンの種類も中・小型種となり、成熟の進行に伴う摂餌の停滞と回遊水域における餌料生物量の減少を反映して、消化管内容物重量は少なくなる。北上から南下に至る回遊水域において、発育各期のサンマが摂食している動物プランクトンの種組成は丸特ネットでは採集した種組成に対応しており(小達 1977)、このことは動物プランクトン捕食者(Zooplankton feeder)としてのサンマの摂餌特性をよく表している。

2) サンマの主要餌料種の季節変化

東北海域の出現種およびサンマの餌料種として重要な *Calanus cristatus* (Fig. 24) と *Calanus plumchris* (Fig. 25) の分布状態の季節変化は次のようであった。

Calanus cristatus は、5・6月において、南は 35°N から北は 42°N、東は 160°E までの広範囲に実施された動物プランクトン採集において、147°E 以西の常磐～三陸近海に集中して出現した。沖合では 40°N 線沿いに 150～160°E の範囲にも多く、この時期には分布の中心が近海水域と沖合水域に分れており、36°N 以南の暖水域には全く出現しなかった。7・8月になると、調査範囲は北側へ拡大したが、分布の中心は 146°E 線に沿って三陸近海から北海道東沖へと連なっており、東方沖合および南側暖水域には出現していない。9・10月には、分布域はさらに北側へ移り、北海道東～南千島沖水域に見られたが、量的には少なくなった。橈脚類の大型種で、動物プランクトン現存量の中の最重要種である本種は、5～8月の期間は三陸～北海道東水域に、9月には南千島水域の親潮系冷水域に分布するので、この水域における餌料種としての価値が高い。

Calanus plumchris は、5・6月には 38～42°N の範囲で 160°E まで連続的に分布していたが、特に 147°E 以西の三陸近海と 150～154°E および 156～160°E の範囲に密集して出現した。ここは親潮系冷水の南下する水域に相当する。7・8月には調査範囲が北側へ拡大されるとともに本種の分布も北へ移り、40～43°N の範囲で 160°E の沖合まで連続して出現した。この分布状態は、*Calanus cristatus* が 7・8月に 150°E より沖合には少なかったのと対照的で、同じ冷水性種であってもより広温性であるといえる。9・10月になると、北海道東近海から沖合は 151°E 付近まで分布するが、この時期の現存量の減少に比例して、採集個体数も少なくなった。

3) サンマによる動物プランクトンの消費量

東北海域で秋に漁獲されるサンマは、その体長組成から大・中・小型群に分けられている。すなわち、サンマの主要な産卵期は春と秋の年 2 回であり、秋生まれ系群は翌年の漁期には小型群(1年)、さらに翌年には大型群(2年)として出現する。春生まれ系群はその年は幼魚で経過し、翌年秋には中型群(1.5年)となって漁獲される(堀田 1960, 巢山ら 1992)。

1985年 5・6月に常磐・三陸沖合水域で行われたサンマ北上期の調査で採捕された未成魚(体長 15 cm 前後、体重約 15 g)は(Fig. 26)、盛夏には北海道東～南千島沖の索餌水域へと移動し、ここで十分に摂餌して、南下期の 8～11月になると、漁獲サンマの主群を構成する中型群(体長 25～27 cm、体重約 90 g 前後)に成長する(Fig. 27)。サンマの体長-体重関係(Fig. 28)から推定して、この間の増重量は、平均して 70～80 g 程度になる。一方、同じ動物プランクトン捕食者であるマサバの餌料転換効率 $e = G/R \times 100$ (G : 増重量, R : 一定期間中の総摂餌量, 畑中 1977)とされることから、サンマの餌料転換効率を 10% と仮定した場合、1尾当たりの総摂餌量は 700～800 g となる。これを基準にして、1985年 8～11月の漁期間において、漁獲量を平均体重で除して求めた総漁獲尾数と 1尾当たりの総摂餌量から、この期間の動物プランクトン消費量を算定すると、1,676,487 トンになった(Table 7)。同様にして、1979～1984年の漁獲サンマの動物プランクトン消費量を求めた。サンマの漁獲量および体長組成は年により異なるが、この期間の動物プランクトン消費量は $2.144 \times 10^6 \sim 1.103 \times 10^6$ トン(Table 8)、7年間を平均して 1.557×10^6 トンであった。すなわち、各年漁獲量の 6.4～7.9 倍、平均漁獲量 0.219×10^6 トンの 7.1 倍の動物プランクトンが、東北海域の索餌場で消費されたものと算定された。サンマ資源量との関係では、さらに数倍の動物プランクトンが消費されたことになる。

サンマ漁獲量と 1964 年以降における動物プランクトン生物量の経年変動を Fig. 29 に示した。サンマは第 II 次大戦後、火光利用による棒受け網漁法の開発により漁獲量が飛躍的に増大した。特に、1954～1964年の 11 年間は 30～55 万トンの大豊漁期であり、全国サンマ漁獲量の 95% 以上が東北海域で漁獲された。しかし、その後サンマ資源は減少傾向に転じ、1969 年には戦後最低の 5.2 万トンの不漁となったが、1970 年代に

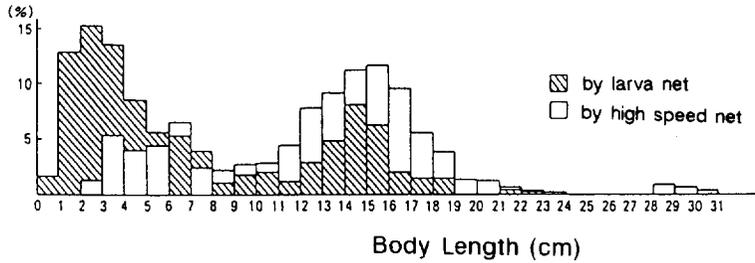


Fig. 26 Frequency distribution of the body length of pacific saury collected by larva net and high speed net during its northward migration in May and June 1985.

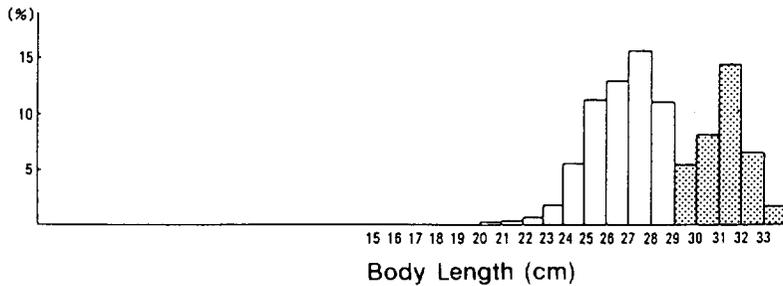


Fig. 27 Frequency distribution of the body length of pacific saury caught by commercial fishing during its southward migration in August to November 1985.

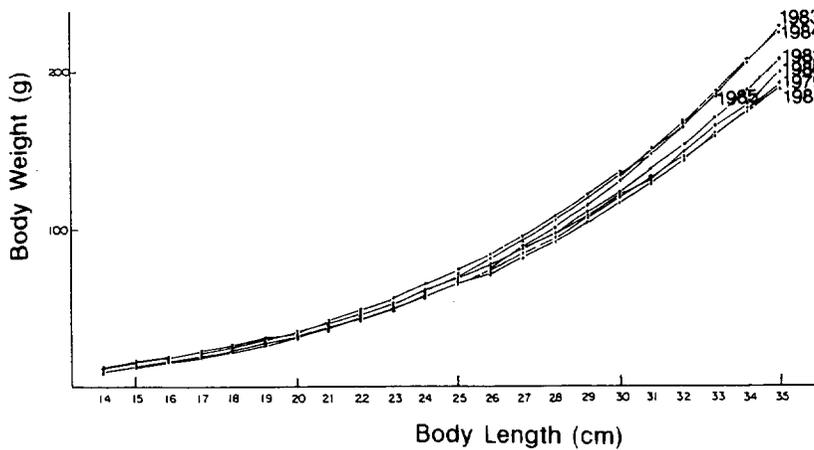


Fig. 28 Relationship between the body length and the body weight in the commercial catch of pacific saury.

入ると再び増加傾向となり、1976年や1981年等の不漁年を経つつも、近年は25万トン前後を維持している。一方、動物プランクトン現存量・生物量の第II期高水準期後半に相当する1971~1979年の間は、サンマ漁獲量は1976年の不漁年があるものの、年代的には豊漁期であった。動物プランクトン現存量・生物量の第

III期高水準期では、サンマ漁獲量も中位に安定している。また、1963年以前は親潮・混合・黒潮水域の占有面積を測定する海況図が不備なので動物プランクトン生物量の算定はされていないが、この時期のサンマの大豊漁期は動物プランクトン現存量の第I期高水準期に相当するので、生物量も多かったものと推察できる。動

Table 7 Estimating for the amount of food consumption in each class of the body length of pacific saury during feeding migration to the Tohoku Sea Area in 1985.

Class of body length (cm)	Average body weight (g)	Additional weight (g)	Number of catch ($\times 10^3$)	Amount of food consumption (ton)
15	14	12	416.3	50.0
16	17	14	0.0	—
17	21	17	0.0	—
18	25	20	78.4	15.7
19	30	24	83.8	20.1
20	35	28	359.1	100.5
21	42	34	4,664.5	1,585.6
22	49	40	23,096.5	9,238.6
23	56	46	89,939.5	41,373.2
24	65	54	243,020.6	131,231.1
25	74	60	296,383.4	237,830.0
26	84	67	428,562.8	287,137.1
27	95	70	449,329.2	314,530.4
28	107	72	280,437.0	201,914.6
29	121	72	123,592.9	88,986.9
30	135	70	163,148.7	114,204.1
31	150	66	166,778.2	176,073.6
32	167	60	103,150.4	62,890.2
33	186	50	20,611.3	10,305.7
			2,593,652.6	1,676,487.4

Table 8 Estimating for the total amount of food consumption by pacific saury during the feeding migration to the Tohoku Sea Area from 1979 to 1985.

Year	Amount of Catch (ton)	Number of catch ($\times 10^3$)	Amount of food consumption (ton)
1979	271,662	3,074,363.9	2,114,316.9
1980	192,449	2,089,862.2	1,498,560.7
1981	159,304	1,877,923.5	1,103,391.2
1982	192,883	1,956,325.8	1,383,383.1
1983	232,560	2,017,082.3	1,640,086.3
1984	223,769	1,933,502.0	1,453,134.4
1985	259,247	2,593,652.7	1,676,487.4

物プランクトン生物量とサンマ漁獲量の経年変動はほぼ同期していることから、動物プランクトン生物量はサンマ資源を支える餌料環境の指標になると考えられた。

4) 考察

東北海域に來遊する小型浮魚類の代表種であるマイワシ・マサバ・サンマは、その主要な餌料生物を植物プランクトン及び動物プランクトンに依存しているが、餌料種は魚自体の発育段階や回遊水域により大きく変化する。平本(1981)によれば、房総～常磐近海におけるマイワシ太平洋系群の発育段階に伴う餌生物の種類からみて、未成魚・成魚の食性は珪藻-橈脚類(Diatom-Copepoda)型であるが、未成魚南下群や成魚北上群は珪藻(Diatom)型に類別される。そして、水塊指標種からみた生活域は、索餌北上群では黒潮系水よりの混合水域、南下群では親潮系水の影響を受けた混合水域であるとした。北海道東水域に來遊するマイワシは、植物プランクトンの珪藻類、動物プランクトンでは小型の橈脚類から大型のオキアミ類まで広く捕食している(平本1981, 和田1990)。吉田(1987)はその食性を、沖合域では冷水性の橈脚類を主体とする橈脚類(Copepoda)型、沿岸域では餌料組成も多岐に

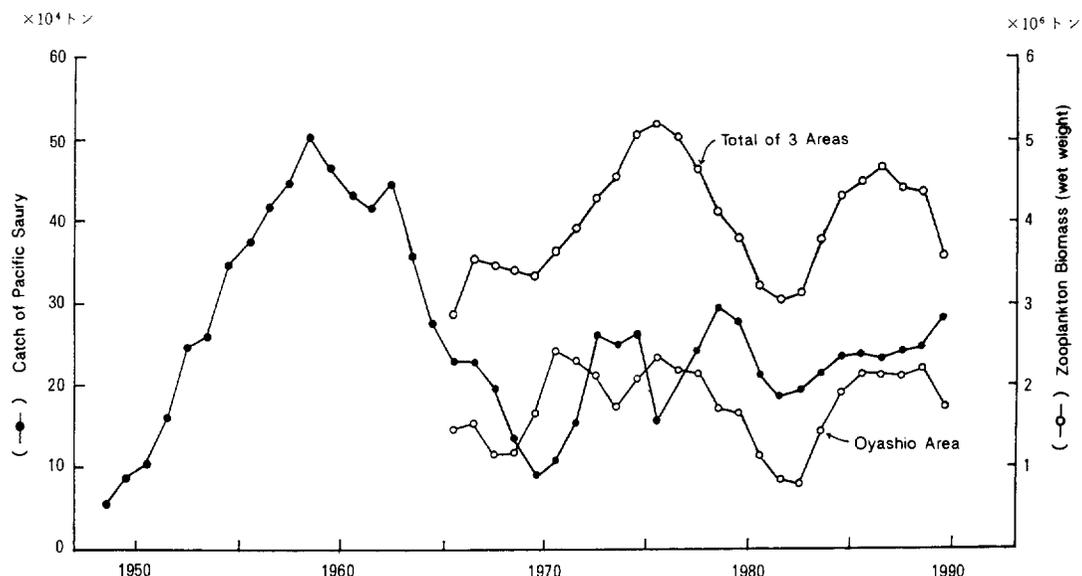


Fig. 29 Long term variability of the zooplankton biomass and the catch of pacific saury indicated by 3 years running mean from 1964 to 1990.

わたり、沿岸性の橈脚類・珪藻類を主体とする珪藻－橈脚類型とに類型化した。また、飯塚(1987)は、三陸～北海道東水域におけるマサバ餌料種の構成から食物連鎖の系を類別して、沿岸域では植物プランクトン→橈脚類→カタクチイワシ→マサバの系と、沖合域では植物プランクトン→橈脚類・オキアミ類→マサバの系とに分けた。マイワシ・マサバの場合にも、生息水域および発育段階によって利用する餌生物との対応関係が認められるが、サンマのように発育段階ごとの回遊と、それらの生活水域における餌料種との関係ほど明らかではない。

これら3魚種のなかでは、マイワシは植物プランクトンに依存する割合が高いので食地位が低く、マサバの餌料種は多岐にわたっていて食地位は高いが、両魚種とも生活領域は沿岸～近海である。サンマの食地位はそれらの中間に位置するが、分布生息域は外洋であって、資源の主要な部分はマイワシ・マサバとは空間的に分かれている。また、サンマは北太平洋亜寒帯水域から亜熱帯水域まで広く分布回遊している魚である。したがって、北海道東近海におけるまき網漁場で、1976年を境に起こったマサバ漁獲量の極端な減少やマイワシの急激な増大という劇的な魚種交替に際して、サンマが餌料環境を通じて直接これに関わっていたとは考えられない。サンマ資源の動態を解析するには、東北海域における動物プランクトン重要種との関

連で捉えてよいと考えられる(小達1988)。

魚類が一定期間内にどれだけの餌料を消費するかを、消化管内容物量や種組成から推定することは困難である。それには、消化速度や摂食日周期等の摂餌生態の把握が必要であるが、サンマの場合、これに関する知見は少ない。そこで、本研究では漁獲量・漁獲尾数と索餌水域における北上期から南下期へかけての増重量および餌料転換効率から、サンマによる動物プランクトン消費量を間接的に算定した。餌料転換効率は魚の発育段階によっても異なり、各種養殖魚では増肉係数として餌料種ごとに実験的に求められているが、飼育困難な回遊性魚類では報告例が少ない。そこで、マサバは50g前後の幼魚で14%、350g前後の未成魚では8%となり、幼魚ほど効率がよいとされるので(畑中1977)、幼魚期から成魚期に至るサンマの平均餌料転換効率を10%と推定した。一方、サンマの摂餌回数を1日3回、1回あたりの摂餌量を体重の5%、漁獲時までの摂餌期間を3カ月と仮定して、1985年の動物プランクトン消費量を試算すると $3,888 \times 10^3$ トンとなり、餌料転換効率から推定した値の約2倍となった。サンマのような無胃魚は間断なく摂餌・排泄していると言われるので、餌料転換効率による推定値の平均155万トンは、かなり過少評価しているものと思われる。さらに、浮魚類の漁獲率30%程度からみて東北海域に來遊するサンマの資源量は、少なくとも漁獲量

の3倍以上は存在すると推定されることから、索餌水域における動物プランクトン総消費量は、500万トンは下らないであろう。

摂餌は、個体の維持・成長のみならず、成熟・再生産を通じて種個体群（資源）の持続にとって不可欠である。したがって、索餌水域における動物プランクトン生物量の経年変動と典型的な動物プランクトン捕食者であるサンマの資源経年変動を対比させてそれらの関係を解析することは、サンマ資源の動態の解明に貢献するものと考えられる。さらに、東北海域に來遊するサンマ・マイワシ・マサバ等の食地位の近い主要種を主軸として、それらの資源量の変動と餌料種の動態との関係を明らかにすることが重要であり、このことがこの海域における生物生産の仕組みを解明する手掛かりとなるであろう。

6. 論 議

海洋における生物の長期変動に関する研究は、ニンヤマイワシのような長年の漁獲量統計資料の解析による魚種別資源動態についての報告以外には、殆んど業績がない。それは、陸上における定地気象観測や魚市場等の漁獲統計の収集と違って、調査船を運航して長年にわたる組織的・継続的な生物採集が困難で、漁獲量統計資料以外は解析に耐えるほどの長期的・連続的な資・試料がないためである。

我が国近海において長期にわたる動物プランクトン現存量の変動に関する研究として、気象庁が亜寒帯水域（41~42°N, 150°E以西）においてOネットおよびNORPACネットを用いて1958~1978年の20年間に継続採集した試料を解析した例がある（古橋1980）。これによると、この間の動物プランクトン現存量は平均137 mg/m³で、年変動はあるものの長期的には大きく変化していない。しかし、この水域を含む本研究による40年にわたる動物プランクトン採集結果では、親潮水域においては3期にわたる高水準期と低水準期の周期的変動がみられた。気象庁の調査は、年代的にはこの長期変動の第I期高水準期（1956~1962年）から第II期高水準期（1965~1978年）に相当しているが、地理的には親潮水域よりも混合水域に偏っていたので、顕著な変動が識別できなかったであろう。

世界の海洋における動物プランクトンの長期的変動を解析した例は少ないが、いずれの海域においても生

物量の変動は、基本的には海洋の物理・化学的動態に起因しているものと思われる。サンマ資源とそれを維持する動物プランクトン生物量との相互関係を解明した本研究とともに、以下の研究は動物プランクトンの長期的変動を解析した数少ない例である。

北太平洋亜寒帯水域の東部に位置するアラスカ湾の定点P（50°N, 145°W）では、1956年以降の24年間における動物プランクトン現存量は、平年偏差で1961~1965年と1973~1978年は負、1958~1960年と1966~1974年では正の値となり、年変動が認められている（Frost 1983）。この傾向は、東北海域の長期変動に比べて、5~6年の短い期間で変化し、1966~1974年代の正の値は東北海域の第II期高水準期の初期に相当しているが、その後の変動傾向は合致しない。このことは両海域の海洋条件の差に由来することが考えられる。すなわち、東北海域は黒潮暖流の北上分派と親潮寒流が複雑に錯綜する海域であり、海況の年変動は著しい。一方、アラスカ湾の海洋定点は、東流する北太平洋亜寒帯海流が150°W付近に至って、北東への1分枝がアラスカ湾へ流入し、南東への1分枝がカリフォルニア海流へ合流する分岐点付近に位置し、低塩領域（Dilute domain）の中央にある（FAVORITE *et al.* 1978）ため、海況の変動も少ないのであろう。また、BRODEUR and WARE（1992）は、1956~1962年と1980~1989年の2期にわたる調査の結果から、北太平洋亜寒帯還流域で得られた動物プランクトン現存量は前年冬季の風の強さと正の相関が認められ、さらに浮魚・イカ資源の増加に関連していると報告している。

COLEBROOK（1989）は、北東大西洋（北海を含む）を航行する各国の商船に目合300 μmのプランクトン採集器の曳航を委託して、1948~1987年にいたる40年間の長期にわたり、延12万海里に及ぶ大量の試料を収集し、動物プランクトン量の長期変動を解析した。これによると、北東大西洋の動物プランクトン量は1953年のピークから次第に減少し始め、約14年を経過した1967年には偏差が負に転じ、さらに14年後の1980年には最低となった。その後、1985年には平年値に回復したが、なお低水準である。そして、このような動物プランクトン量の長期変動曲線がポルトガル沿岸における湧昇流の強さに比例し、さらにミツユビカモメの繁殖成功率とよく一致すること、また、西風の頻度と長期変動傾向が似ているだけでなく、短期的にみると両者には同調する3年強の周期性があることを指摘した。東北海域における動物プランクトン試料の蓄積期

間は、北東大西洋のそれとほぼ同じである。東北海域の親潮水域における平均現存量の長期変動は、1951年以降3期の高水準期を繰り返し、北東大西洋で見られた1つの大きな変動とは異なっている。調査を開始した当初の1950年代は、東北海域の動物プランクトン現存量は増大期にあるのに、北東大西洋では最高水準から減少傾向に転じていた。東北海域の最高水準期（第II期、1965～1978年）には、北東大西洋では最低水準期に相当し、変動の位相が逆になっている。このような東北海域と北東大西洋における変動の位相の相違は、海流系の変動様式の違いが生物生産に影響を及ぼすことが考えられる。つまり、我が国の東北海域は北太平洋の西北部に位置し、黒潮の直接影響下にあるのに、一方は北大西洋の北東部であり、大洋の西側と東側という逆の位置関係にある。しかし、近年における東北海域の第III期高水準期と北東大西洋の増大傾向は期を一にしているのが認められる。両海域とも世界有数の好漁場を形成し、漁業生産の極めて高い海域であり、浮魚類の主要な餌料である動物プランクトンの変動が水産生物資源の動態に及ぼすメカニズムを解明することが重要な課題となろう。

夏季（5～7月）は、東北海域に来遊する小型浮魚類の成育期であり、この時期の動物プランクトンの質と量に関する研究が最も重要である。親潮水域における動物プランクトンの平均現存量は 33.3 g/m^2 に達し、ベーリング海の 36.8 g/m^2 にはほぼ匹敵する。本研究では、常磐～三陸～北海道東沖の東北近海域における1964～1990年6月の動物プランクトン生物量は、平均して約400万トンと算定された。この値はベーリング海全域における夏季の動物プランクトン生物量の8,500万トン（Wet weight/ $\text{m}^2/0\text{--}80 \text{ m}$ ）に比べて、約1/21であった。また、日本海での推定量2,324万トン（森岡・小牧1978）よりも少なかった。これは東北近海で生物量を算定するために限定した水域の面積は $225 \times 10^3 \text{ km}^2$ であり、ベーリング海の $2,304 \times 10^3 \text{ km}^2$ の約1/10と少なく、期間も6月に限定したためである。したがって、東北海域に来遊するマイワシ・サンマ等の小型浮魚類の餌料環境を評価する場合には、それらの分布範囲を考慮して、その算定水域をさらに拡大しなければならない。東北海域において、これら回遊性小型浮魚類による動物プランクトン消費量を試算した結果においても、この値は過少評価と推察される。1979～1985年漁期における総漁獲尾数と北上期から

南下期に至る増重量から、餌料転換効率を10%として算定したサンマによる動物プランクトン消費量は、最低110万トン（1981年）、最高210万トン（1979年）であった。一方、三陸～北海道東水域に来遊する浮魚類の過去10年間（1981～1990年）の平均漁獲量は、マイワシ263万トン、マサバ50万トン、サンマ23万トンで、合計約340万トンになるから、漁獲率を30%としても3魚種の総来遊資源量は1,000万トンを下らない。これらが索餌のために三陸～北海道東水域に滞留する期間を6月～10月の5カ月とみても、これらの資源を支える餌料は数千万トンにもなる。今後の研究課題として、現存量の増大する5月から高水準が持続する秋に至る動物プランクトンの生産量、および周辺水域からの補給等についても明らかにする必要がある。

北太平洋における生物量を推定するに当たっては、亜寒帯循環における物質輸送機能の重要性が指摘されている（大谷・永田1990）。例えば、5～8月の夏季に親潮上流域から北海道東水域に輸送される動物プランクトン生物量は、有機炭素量で $2.4 \times 10^6 \text{ トン C/4}$ カ月と算定されている（小谷・小達1992）。これは湿重量に換算して約4,000万トンとなる。この場合、親潮の深さを1,500mと仮定したので、やや過大評価になっている可能性があるが、この位の数値であれば、上記の方法で算出した東北海域における小型浮魚類による動物プランクトン消費量は、数量的には収支ほぼ償うものと考えられる。東北海域における動物プランクトン生物量の27年間にわたる経年変動のなかで、海況変化の影響は年により異なっており、三陸・常磐近海の特定水域で算定した動物プランクトン生物量においても親潮の勢力がその変動に影響していることから、平均的な海況パターンだけでなく、特に親潮の流動による補給機構を解明する必要がある。

極東海域のマイワシは、今世紀に入り1936年前後の大漁期および1965年の低極期（9千トン）を経て、1988年にはピーク（約450万トン）に達し、現在は減少傾向に転じていると見られている。1980年代におけるこのような資源の増大は、極東海域のみならず北米太平洋沿岸のCalifornia sardine、南米チリー沿岸のChilean sardine、欧州西岸のEuropean sardine等でも同時的に起こっている。この増大現象は、地球規模の環境変動すなわち過去100年間の地表平均気温の変化と同調して起こっているという（川崎1989）。つまり、気温の上昇と気圧配置の変化により、沿岸湧昇流

の活動が活発化し、光合成が盛んになって、植物プランクトンの大増殖を促しており、このことが植物プランクトン食性のマイワシ資源の増大に寄与している。本研究では植物プランクトン変動と動物プランクトン変動との関係は解析してないが、地球規模の長期的な気候変動→湧昇流の活性化→植物プランクトンの大増殖→マイワシ資源の増大という図式(川崎 1989)に、動物プランクトンの動態も組み込まれていることは間違いない。しかも、東北海域に索餌回遊するマイワシは動物プランクトンに依存する割合が高いことが報告されている(和田 1990)ことから、動物プランクトンの動態はマイワシ資源の変動にも少なからず影響を及ぼしていることが推察される。本研究では、我が国周辺水域のなかでも、生産性が高く、最も漁業生産量が多い東北海域において、動物プランクトン現存量の長期変動および種組成の動態を通じて、それらとサンマ資源の変動との関係についてのみ解析した。しかし、水産研究にとっては、この海域においてさらに資源量の多いマイワシ・マサバ等も含めて、動物プランクトン食性魚を軸とした生物生産の仕組みを解明する必要があり、そのためには今後も動物プランクトンの種組成や生物量の長期的な変化を把握することが重要であると考える。

要 約

東北海域は、北太平洋亜寒帯水域の西部に位置し、黒潮統流と親潮および津軽暖流等により複雑な海況を呈し、我が国周辺海域で最も漁業生産が高い海域である。この海域に來遊する小型浮魚類が利用する動物プランクトンの質的・量的動態を解析し、それらが魚類資源との関わりに果たす役割を解明することを本研究の目的とした。

1. 東北海域において、1951~1990年の40年間に、丸特ネットを用い、水深150m層から曳網採集した動物プランクトン試料17,242点について湿重量の計測と種の同定を行い、現存量の長期変動と重要種の動態について解析した。東北海域の水深100m層水温分布のパターンは一年を通じて比較的变化が少ないので、親潮前線に相当する5℃以下を親潮水域、黒潮前線を指標する15℃以上を黒潮水域、それらの間の5~15℃を混合水域に区分して、解析を行った。

2. 1951~1990年の月別緯度経度1度柵目の平均採

集量の分布によると、1~3月は調査の行われた150°E以西の常磐水域で1g/net以下であったが、4~10月は調査が東北海域の全域で実施されるとともに平均採集量も増加し、5~8月には三陸~北海道東~南千島沖水域で10g/net以上となった。しかし、10月以降は調査範囲も縮小し、採集量も少なくなった。1973年5月の常磐・三陸沖の160°Eに及ぶ広域調査で、動物プランクトンは38°N線以北において水深100m層5℃以下の冷水域に多く、15℃以上の暖水域で少なかった。また、1986年9月の145°E線南北縦断採集では、親潮前線以北で多く、混合水域・黒潮水域では少なかった等、採集量は環境条件を反映していることが明らかになった。

3. 採集点における水深100m層の水温範囲は0.1~24.0℃であり、1℃階級ごとの現存量(g/m²)は、0℃台の最低水温階級を最高値(34.1g/m²)として、水温が上がるにつれて減少し、5~10℃で11.6g/m²、10~15℃で7.4g/m²、15℃以上では6~5g/m²と低水準が続いた。親潮・混合・黒潮水域別の採集点ごとの現存量頻度分布は、黒潮水域では20g/m²までの累計が97%を占めていたが、親潮水域のそれは20g/m²以上の採集点が51%を占めた。

4. 東北海域における動物プランクトン現存量の季節変化で、初夏5月にピークが認められた。親潮水域では40年間に5・6月に現存量のピークが出現する年は80%に達し、初夏の増殖が顕著であった。総平均では5月のピーク(40g/m²)から8月頃まで20~30g/m²の高水準が続き、秋には減少した。混合水域・黒潮水域では5月のピークから夏に減少し、11月頃に小さなピークが見られるという特徴を示した。

5. 親潮水域における総平均現存量は17.3g/m²であったが、40年間にわたる長期変動のなかで、3つの高水準期すなわち、第I期(1956~1962年、平均16.5g/m²)、第II期(1965~1978年、平均21.0g/m²)、第III期(1987~1989年、16.3g/m²)が検出された。年間偏差からもこの傾向は明瞭であった。混合水域での総平均値は7.8g/m²で、漸増から漸減状態は認められたが、親潮水域の変動と同期するような傾向は識別されなかった。黒潮水域の平均値は5.8g/m²で、その変動は小さかった。

6. 146°E以西に特定した近海特定区域において、1964~1990年6月の水深100m層の水温分布から、親潮・混合・黒潮区域の占有面積(km²)と現存量(g/m²)の積で動物プランクトン生物量を求めた。この27年間

で年別生物量は $1.934 \times 10^6 \sim 5.358 \times 10^6$ トン間で変動し、親潮区域で平均 1.731×10^6 トン、混合区域で 1.857×10^6 トン、黒潮区域では 0.299×10^6 トンであった。親潮区域における経年変動は、現存量の長期変動の第II期と第III期にはほぼ並行しており、混合区域においても同様な傾向が明らかになった。生物量は各区域の占有面積よりは、現存量すなわち分布密度とよい相関を示した。

7. 同定された動物プランクトンは259種に及んだ。1986年5月の常磐・三陸水域では、親潮水域に出現した33種のうち *Calanus cristatus*, *Calanus plumchrus* 等の7種の冷水性種が、黒潮水域では50種のうち10種の暖水性種が出現した。混合水域では両水域に分布する種が複合して出現した。平均出現個体数の順位から56種を主要種とし、出現個体数順位で第1位(5,886個体/net)は *Paracalanus parvus* であった。さらに個体数順位と1個体の体重比から換算して、*Calanus cristatus*, *Calanus finmarchicus*, *Calanus plumchrus*, *Eucalanus bungii*, *Metridia pacifica*, *Calanus helgolandicus*, *Themisto japonica* の計7種を最重要種と評価した。これら7種は全て親潮系冷水性種であるが、特に *Calanus cristatus* と *Calanus plumchrus* は、初夏から秋へかけて三陸～北海道東～南千島沖水域に多く分布して、現存量の高水準を維持するのに寄与し、サンマを始め回遊性浮魚類の漁場に広く分布することが明らかになった。

8. 黒潮流域で生まれたサンマは、稚幼魚期を過ごす常磐水域では暖水性小型橈脚類を主な餌料としているが、6～8月の北上期における未成魚～成魚は前線を越えて動物プランクトンの豊富な親潮水域に回遊し、餌料種も冷水性大型種となる。この時期のサンマ(体長19～31cm)の1個体当たりの平均消化管内容物重量は3～5gであるが、消化管内容物重量範囲は小型魚で2～5g、大型魚では最高8gに達した。体重比でみると小型魚ほど多く摂餌し(7%)、大型になるにつれて消化管内容物重量は増えるが、体重比は逆に減少して4%程度であった。

9. 北上回遊期のサンマ未成魚の成長傾向と、南下期に漁獲物の主構成群となる中型・大型群までの増重量から、餌料転換効率を10%として算定した索餌水域におけるサンマの動物プランクトン消費量は、1979～1985年では平均155万トンで、この期間の年平均漁獲量の約7倍を消費したと推定された。

10. 東北海域におけるサンマの漁獲量の長期変動

は、動物プランクトン現存量および生物量の長期変動とほぼ同期しており、東北海域における動物プランクトンとくに7種の冷水性大型種が、索餌水域においてサンマ資源を支える最重要種であることが明らかになった。

以上、東北海域における動物プランクトンの動態および長期変動と、それを利用するサンマとの関わりを解明し、東北海域の生物生産のメカニズムを明らかにするための示唆が得られた。

参考文献

- BRODEUR, R.D. and D.M., WARE (1992) Long-term variability in zooplankton biomass in the subarctic Pacific Ocean. *Fish. Oceanogr.*, 1(1), 32-38.
- COLEBROOK, J.M. (1989) Continuous plankton records: From seasons to the plankton of the North-east Atlantic. In: *Long-term variability of pelagic fish populations and their environment* (eds. T. Kawasaki et al.) 29-45. Oxford, Pergamon Press, 402 pp.
- DODIMEAD, A.J., F. FAVORITE and T. HIRANO (1963) Review of oceanography of the subarctic Pacific region. *INPFC Bull.*, (13), 1-195.
- FAVORITE, F., A.J. DODIMEAD and K. NASU (1978) 太平洋亜寒帯海域の海洋学, 1960-1971年. 北太平洋漁業国際委員会研報, (33), 1-171.
- FROST, B.W. (1983) Interannual variation of zooplankton standing stock in the open Gulf of Alaska. In: *From year to year-Interannual variability of the environment and fisheries of the Gulf of Alaska and the eastern Bering Sea* (ed. W.S. Wooster), 146-157. Seattle, Washington Sea Grant Publication, 210 pp.
- FULTON, J. (1973) Some aspects of the life history of *Calanus plumchrus* in the Strait of Georgia. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30(6), 811-815.
- 古橋賢造(1980) オホーツク海のプランクトン現存量について. 水産海洋研究会報, (37), 36-42.
- 畑中正吉(1977) 索餌. 川本信之編, 魚類生理, 160-176, 東京, 恒星社厚生閣.
- 平本紀久雄(1981) マイワシ太平洋系群の房総およびその周辺海域における発育と生活に関する研究. 千葉水試研究報告, (39), 1-127.
- 堀田秀之(1960) 鱗・耳石によるサンマのボリュール

- ジョン構造の解析とその成長, 東北水研研報, (16), 41-64.
- 飯塚景記(1987) 東北北部海域におけるマサバ未成魚の生態的地位, 東北水研研報, (49), 36-59.
- 川合英夫(1955) 東北海区における極前線帯とその変動について, 東北水研研報, (4), 1-46.
- 川合英夫(1972) 黒潮と親潮の海況学, 海洋学基礎講座 2, 海洋物理 II, 東海大学出版会, 東京, 328 pp.
- 川崎 健(1989) 浮魚の生態と資源変動の解明, 水産海洋研究, 53(2), 178-191.
- KAWASAKI, T. (1989) Long-term variability in the pelagic fish populations. In: *Long-term variability of pelagic fish populations and their environment* (eds. T. Kawasaki et al.), 47-60. Oxford, Pergamon Press, 402 pp.
- 木村喜之助(1970) 黒潮前線から分離する暖水塊の漁場形成機構, 海洋科学, 2(7, 8), 30-42.
- 木村喜之助・小達和子 (1957) プランクトンの水塊指標性に就いて, 東北水研研報, (10), 1-16.
- 小谷祐一・小達和子 (1992) 東北海区における動物プランクトン生物量の変動, 水産海洋研究, 56(2), 182-185.
- 丸茂隆三(1980) 海洋プランクトンの分布と生態に関する研究, 日本海洋学会誌, 36(2), 126-133.
- 箕田 嵩 (1976) 熱帯・亜熱帯外洋域の動物プランクトン現存量と種の多様性, 海洋科学, 8(10), 39-44.
- 箕田 嵩(1977) ベーリング海および北太平洋北部の動物プランクトン分布構造の季節変化, 水産海洋研究会報, (31), 91-93.
- 箕田 嵩(1980) 北海道南東親潮域のプランクトンの季節変化, 月刊海洋科学, 12(10), 681-686.
- 箕田 嵩(1984) 沿岸浮遊生物群集, 丸茂隆三編, 海洋の生物過程, 3-7, 東京, 恒星社厚生閣, 465 pp.
- MINODA, T. (1958) Report from the "Oshoro Maru" on oceanographic and biological investigations in the Bering sea and northern North Pacific in the summer of 1955. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 8(4), 253-263.
- MINODA, T. (1971) Pelagic Copepoda in the Bering Sea and the northwestern North Pacific with special reference to their vertical distribution. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 18(1, 2), 1-74.
- 森岡泰啓・小牧勇蔵 (1978) 日本海における動物プランクトン生産量の季節的・鉛直的分布, 日水研報告, (29), 255-267.
- 元田 茂(1944) 海とプランクトン, 東京, 河出書房, 235 pp.
- 元田 茂(1972) 動物プランクトンの生態特に日周鉛直移動の習性について, 日本海洋学会誌, 28(6), 278-292.
- 元田 茂・箕田 嵩(1972) ベーリング海の生物群集, 海洋科学, 4(7), 19-27.
- 小達和子(1962) 東北海区における動物プランクトンの性状, 東北水研研報, (21), 93-103.
- 小達和子(1966) 夏季の親潮水域とその隣接海域における動物プランクトン量の比較について, 東北水研研報, (26), 45-53.
- 小達和子(1977) サンマの食性について, 東北水研研報, (38), 75-88.
- 小達和子 (1978) 北太平洋におけるオキアミ類の分布, 東北水研研報, (39), 21-37.
- 小達和子(1980) SYMPOSIUM: 海洋プランクトン—東北海区の混合水域, 海洋科学, 12(9), 634-645.
- 小達和子(1986) 東北沖合における動物プランクトン分布量の機械集計, 東北水研研報, (48), 31-47.
- 小達和子(1988) 黒潮統流域の生物生産力, 水産海洋研究会報, 52(2), 150-154.
- 小達和子(1991a) 北西太平洋(東北海区)における1951~1988年の動物プランクトン現存量の分布, 東北区水産研究所, 塩釜, 370 pp.
- 小達和子(1991b) 三陸・常磐沿岸におけるツノナンオキアミとその漁業, 水産研究叢書, (40), 東京, (社)日本水産資源保護協会, 97 pp.
- Олате, К. (1977) Состав пищи сайры в зависимости от распределения планктона. ТИПРО, ИЗВЕСТИЯ, (101), 85-90.
- ODATE, K. (1985) Distribution and inter-annual variation of zooplanktons in the open sea. *Bull. Mar. Sci.*, 37(2), 772.
- 奥田邦明・小達和子・小川嘉彦(1987) 1986年夏期の東北海域における海洋構造と動物プランクトン, 栄養塩分布, 黒潮開発利用調査研究成果報告書 その1, 327-336.
- OMORI, M. and O. TANAKA (1967) Distribution of some cold-water species of copepods in the Pacific water off east-central Honshu, Japan. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, 23(2), 63-73.
- 大谷清隆・永田 豊(1990) 北太平洋亜寒帯循環—水塊の特性と変質—, 月刊海洋, 22(4), 169-173.
- 関口秀夫(1984) 浮遊性かいあし類の分布生態, 日本プランクトン学会報, 創立30周年記念号, 40-43.
- 巢山 哲・桜井泰憲・目黒敏美・島崎健二(1992) 中部北太平洋におけるサンマ *Cololabis saira* の耳石日周輪に基づく年齢と成長の推定, 日本水産学会誌, 58(10), 1607-1614.
- 鈴木秀彌(1988) 薩南~房総近海における低次生産の経年変動とその機構, 水産海洋研究会報, 52(2),

147-150.

高 幸子・北片正章・和田時夫(1982) 千島列島南東水域における夏季のサンマと餌生物, 特に *Calanus plumchrus* との関係について. 北水研報告, (47), 41-56.

田中於菟彦(1957) 浮游性橈脚類. 水産学集成, 東京, 東京大学出版会, 890 pp.

谷口 旭(1986a) 海とプランクトン 1—浮游生物学概説(1). 海洋と生物, 8(2), 82-87.

谷口 旭(1986b) 海とプランクトン 1—浮游生物学概説(2). 海洋と生物, 8(3), 162-167.

東北区水産研究所(1970) 東北海区漁場海況概報(1~12月). 東北区水産研究所.

和田時夫(1990) 資源変動に伴うマイワシの生態的適応. 水産海洋研究, 54(4), 425-428.

山本民次(1989) 海洋前線域におけるプランクトンの不均一分布に関する研究. 日本海洋学会誌, 45(3), 233-241.

吉田英雄(1987) 道東~三陸沖における春・夏季のマイワシの分布と食性. 水産海洋研究会報, 51(4), 324-329.

東北区水産研究所業績 504A 号

(1993年12月8日受理)

[北海道大学審査学位論文]

Address: ODATE, 7-28 Minogaoka, Shiogama, Miyagi 985, Japan

Appendix table 1 List of zooplankton occurred in the Tohoku Sea Area.

1) COELENTERATA 腔腸動物門	
HYDROZOA ヒドロ虫綱	
Hydroida ヒドロ虫目	
Leptomedusae 軟水母亜目 (Thecata 有鞘亜目)	
Campanulariidae ウミサカズキガヤ科	1 <i>Phialidium discoïda</i>
	2 <i>Obelia</i> sp.
Eutimidae コノハクラゲ科	3 <i>Eutima japonica</i>
Trachylina 硬水母目	
Trachymedusae 硬水母亜目	
Rhopalonematidae イチメガサクラゲ科	4 <i>Rhopalonema velatum</i>
	5 <i>Amphogona apsteini</i>
	6 <i>Colobonema typicum</i>
	7 <i>Aglaura hemistoma</i>
	8 <i>Aglantha digitale</i>
Geryoniidae オオカラカサクラゲ科	9 <i>Liriope tetraphylla</i>
	10 <i>Geryonia proboscidalis</i>
Narcomedusae 剛水母亜目	
Aeginidae ツツミクラゲ科	11 <i>Solmundella bitentaculata</i>
	12 <i>Aegina rosea</i>
Siphonophorae 管水母目	
Calycophorae 鐘泳亜目	
Muggiaeidae ヒトツクラゲ科	13 <i>Muggiaea atlantica</i>
	14 <i>Muggiaea spiralis</i>
Diphyidae フタツクラゲ科	15 <i>Diphyes appendiculata</i>
	16 <i>Diphyes contorta</i>
	17 <i>Abyla haeckeli</i>
Rhizophysaliae 囊泳亜目	
Rhizophysidae ボウズニラ科	18 <i>Rhizophysa eysenhardti</i>
SCYPHOMEDUSAE (SCYPHOZOA) 鉢水母綱	
EPHYRIDAE エフィラ亜綱	
Coronatae 冠水母目	
Ephyropsidae エフィラクラゲ科	19 <i>Nausithoe punctata</i>
2) CTENOPHORA (CTENARIA) 有櫛動物門	
TENTACULATA 有触手綱	

- Cidippidea (Cydippida) 風船水母目
 Pleurobrachiidae テマリクラゲ科
- Lampetiidae ヘンゲクラゲ科
- ATENTACULATA 無触手綱
 Beroidea (Beroidea) 瓜水母目
 Beroidae ウリクラゲ科
- 3) ANNELIDA 環形動物門
 POLYCHAETA 多毛綱
 Errantia 遊在目
 Alciopidae ウキゴカイ科
- Typholoscolecidae ヤムシゴカイ科
- Tomopteridae オヨギゴカイ科
- 4) MOLLUSCA 軟体動物門
 CONCHIFERA 貝殻亜門
 GASTROPODA 腹足綱
 PROSOBRANCHIA 前鰓亜綱
 Mesogastropoda 中腹足目
 Heteropoda 異足亜目
 Atlantidae クチキレウキガイ科
- Carinariidae ソウクラゲ科
- Pterotracheidae ヒメソウクラゲ科
- OPISTHOBRANCHIA 後鰓亜綱
 Pteropoda 翼足目
 Thecosomata 有殻亜目
 Limacinidae (Spiratellidae) ミジンウキマイマイ科
- 20 *Pleurobrachia pileus*
 21 *Hormiphora palmata*
 22 *Lampetia pancerina*
 23 *Beroe cucumis*
 24 *Beroe forskali*
 25 *Rhynchonerrella angelini*
 26 *Vanadis grandis*
 27 *Segitella kowalewskii*
 28 *Tomopteris septentrionalis*
 29 *Tomopteris pacifica*
 30 *Tomopteris elegans*
 31 *Oxygyrus keraudreni*
 32 *Atlanta peroni*
 33 *Atlanta inclinata*
 34 *Atlanta lesueuri*
 35 *Carinaria cristata*
 36 *Carinaria lamarcki lamarcki*
 37 *Carinaria japonica*
 38 *Firoloida desmaresti*
 39 *Pterotrachea coronata*
 40 *Limacina helicina*

- Cavoliniidae カメガイ科
- Gymnosomata 無殻亜目
- Clionidae ハダカカメガイ科
- Pseudothecosomata 擬殻亜目
- Cymbuliidae ヤジリカンテンカメガイ科
- Desmopteridae コチョウカメガイ科
- 41 *Limacina inflata*
- 42 *Limacina bulimoides*
- 43 *Creseis virgula*
- 44 *Styliola subula*
- 45 *Euclio pyramidata*
- 46 *Diacria trispinosa*
- 47 *Cavolinia globulosa*
- 48 *Cavolinia tridentata*
- 49 *Clione limacina limacina*
- 50 *Corolla spectabilis*
- 51 *Cymbulia sibogae*
- 52 *Desmopterus papilio*
- 5) ARTHROPODA 節足動物門
- MANDIBULATA 大顎動物亜門
- CRUSTACEA 甲殻綱
- BRANCHIOPODA (PHYLLOPODA 葉脚亜綱) 鰓脚亜綱
- Cladocera 枝角目
- Eucladocera (Calyptomera) 真枝角亜目
- Sidoidea シダ上科 (Ctenopoda 櫛脚上科)
- Sididae シダミジンコ科
- Gymnomera 裸節亜目
- Polyphemoidea オオメミジンコ上科 (Onychopoda 鉤脚上科)
- Polyphemidae オオメミジンコ科
- 53 *Penilia schmackeri*
- 54 *Podon polyphemoides*
- 55 *Podon leuckarti*
- 56 *Evadne nordmanni*
- 57 *Evadne spinifera*
- 58 *Evadne tergestina*
- OSTRACODA 貝形亜綱
- Myodocopa ミオドコーバ目
- Cypridinidae ウミホタル科
- Halocyprididae カイミジンコ科
- 59 *Pyrocypris noctiluca*
- 60 *Cypridina hilgendorfi*
- 61 *Conchoecia elegans*
- 62 *Conchoecia imbricata*
- 63 *Conchoecia serrulata*
- COPEPODA 橈脚亜綱
- Calanoida カラヌス目
- Calanidae カラヌス科

- 64 *Calanus finmarchicus*
 65 *Calanus helgolandicus*
 66 *Calanus tenuicornis*
 67 *Calanus cristatus*
 68 *Calanus plumchrus*
 69 *Neocalanus minor*
 70 *Neocalanus gracilis*
 71 *Neocalanus robustior*
 72 *Canthocalanus pauper*
 73 *Undinula darwini*
 74 *Undinula vulgaris*
- Eucalanidae ユウカラヌス科
- 75 *Eucalanus attenuatus*
 76 *Eucalanus elongatus*
 77 *Eucalanus mucronatus*
 78 *Eucalanus bungii*
 79 *Eucalanus crassus*
 80 *Eucalanus subtenuis*
 81 *Eucalanus subcrassus*
 82 *Rhincalanus cornutus*
 83 *Rhincalanus nasutus*
 84 *Mecynocera clausi*
- Paracalanidae バラカラヌス科
- 85 *Paracalanus aculeatus*
 86 *Paracalanus parvus*
 87 *Acrocalanus gracilis*
 88 *Acrocalanus longicornis*
 89 *Acrocalanus gibber*
 90 *Acrocalanus monachus*
 91 *Calocalanus pavo*
 92 *Calocalanus styliremis*
- Pseudocalanidae プセウドカラヌス科
- 93 *Calausocalanus arcuicornis*
 94 *Clausocalanus pargens*
 95 *Ctenocalanus venus*
 96 *Pseudocalanus minutus*
 97 *Pseudocalanus gracilis*
 98 *Pseudocalanus elongatus*
- Aetideidae エティデウス科
- 99 *Aetideus armatus*
 100 *Aetideus giesbrechti*
 101 *Bradyidius armatus*
 102 *Gaetanus armiger*
 103 *Gaetanus miles*
 104 *Gaetanus minor*
 105 *Undeuchaeta plumosa*
 106 *Euchirella rostrata*
 107 *Euchirella amoena*

- Euchaetidae ユウケータ科
- 108 *Euchaeta marina*
 109 *Euchaeta longicornis*
 110 *Euchaeta media*
 111 *Euchaeta flava*
 112 *Euchaeta plana*
 113 *Euchaeta concinua*
 114 *Euchaeta wolfendeni*
 115 *Pareuchaeta elongata*
- Phaennidae フェンナ科
- 116 *Phaenna spinifera*
- Scolecithricidae スコレキトリックス科
- 117 *Scottocalanus securifrons*
 118 *Scottocalanus helenae*
 119 *Scaphocalanus echinatus*
 120 *Scolecithricella minor*
 121 *Scolecithricella bradyi*
 122 *Scolecithrix danae*
- Centropagidae ケントロパゲス科
- 123 *Centropages gracilis*
 124 *Centropages yamadai*
 125 *Centropages abdominalis*
 126 *Centropages bradyi*
 127 *Centropages longicornis*
 128 *Centropages furcatus*
- Temoridae テモラ科
- 129 *Temora turbinata*
 130 *Temora discaudata*
 131 *Temora stylifera*
- Metridiidae メトリディア科
- 132 *Metridia pacifica*
 133 *Metridia okhotensis*
 134 *Metridia* sp.
 135 *Pleuromamma abdominalis*
 136 *Pleuromamma gracilis*
 137 *Pleuromamma xiphias*
 138 *Pleuromamma* sp.
- Lucicutiidae ルキクチア科
- 139 *Lucicutia magna*
 140 *Lucicutia flavicornis*
 141 *Lucicutia ovalis*
- Heterorhabdidae ヘテロラブドス科
- 142 *Heterorhabdus papilliger*
- Augaptilidae アウガプチルス科
- 143 *Haloptilus longicornis*
 144 *Haloptilus ornatus*
 145 *Haloptilus mucronatus*
- Candaciidae カンダキア科

- 146 *Candacia bipinnata*
 147 *Candacia pachydactyla*
 148 *Candacia simplex*.
 149 *Candacia bradyi*
 150 *Candacia catula*
 151 *Candacia longimana*
 152 *Candacia columbiae*
 153 *Candacia discaudata*
 154 *Candacia pectinata*
 155 *Candacia norvegica*
- Pontellidae ポンテラ科
- 156 *Labidocera japonica*
 157 *Labidocera euchaeta*
 158 *Labidocera minuta*
 159 *Pontella spinicauda*
 160 *Pontella* sp.
 161 *Pontellopsis yamadae*
 162 *Pontellopsis* sp.
 163 *Pontellina plumata*
- Acartiidae アカルチア科
- 164 *Acartia negligens*
 165 *Acartia danae*
 166 *Acartia erythraea*
 167 *Acartia longiremis*
 168 *Acartia clausi*
 169 *Acartia* sp.
- Tortanidae トルタヌス科
- 170 *Tortanus discaudatus*
- Cyclopoida キクロプス目
- Oithonidae オイトナ科
- 171 *Oithona nana*
 172 *Oithona plumifera*
 173 *Oithona robusta*
 174 *Oithona similis*
 175 *Oithona* sp.
- Oncaeiidae オンケア科
- 176 *Oncaea venusta*
 177 *Oncaea media*
 178 *Oncaea conifera*
- Sapphirinidae サッピリナ科
- 179 *Sapphirina angusta*
 180 *Sapphirina opalina*
 181 *Sapphirina gastrica*
 182 *Sapphirina* sp.
 183 *Copilia mirabilis*
 184 *Copilia longistylis*
- Corycaeiidae コリケウス科
- 185 *Corycaeus speciosus*

- Harpacticoida ハルバクチクス目
 Ectinosomidae エクティノソマ科
 Tachidiidae タキディウス科
 Macrosetellidae マクロセテラ科
 Clytemnestridae クリテムネストラ科
 Harpacticidae ハルバクティクス科
 Thalestridae タレストリス科
- MALACOSTRACA 軟甲亜綱
 Peracarida フクロエビ上目
 Mysidacea アミ目
 Mysida アミ亜目
 Mysidae アミ科
 Cumacea クマ目
 Bodotriidae ボドトリア科
 Isopoda 等脚目
 Anthuroidea ウミフナムシ亜目
 Anthuridae ウミフナムシ科
 Flabellifera 有扇亜目
 Cirolanidae スナホリムシ科
 Amphipoda 端脚目
 Hyperiidea クラゲノミ亜目
 Scinidae (Tyromidae) ノコギリウミノミ科
 Vibiliidae ヘラウミノミ科
 Paraphronimidae ボウズウミノミ科
 Phronimidae タルマワシ科
 Hyperiididae クラゲノミ科
- 186 *Corycaeus lautus*
 187 *Corycaeus* sp.
 188 *Microsetella norvegica*
 189 *Euterpina acutifrons*
 190 *Macrosetella gracilis*
 191 *Clytemnestra rostrata*
 192 *Clytemnestra scutellata*
 193 *Harpacticus uniremis*
 194 *Idomene forifcata*
 195 *Neomysis* sp.
 196 *Proneomysis* sp.
 197 *Bodotria* sp.
 198 *Paranthura* sp.
 199 *Excirrolana* sp.
 200 *Scina borealis*
 201 *Scina cornigera*
 202 *Vibilia armata*
 203 *Vibilia viatrix*
 204 *Paraphronima gracilis*
 205 *Phronima sedentaria*
 206 *Phronima atlantica*
 207 *Phronimella elongata*

- 208 *Phronimopsis spinifera*
 209 *Themisto japonica*
 210 *Hyperoche medusarum*
 211 *Hyperia galba*
 212 *Hyperia shizogeneios*
 213 *Cyphocaris anonyx*
- Phrosinidae (Anchylomeridae) マルオウミノミ科
 214 *Anchylomera blossevillei*
 215 *Phrosina semilunata*
 216 *Euprimno macropa*
- Lycaeidae (Tryphaenidae) ノコバウミノミ科
 217 *Brachyscelus crusculum*
- Oxycephalidae トガリズキンウミノミ科
 218 *Oxycephalus porcellus*
 219 *Glossocephalus milne-edwardsi*
 220 *Rhabdosoma brevicaudatum*
- Eucarida ホンエビ上目
 Euphausiacea オキアミ目
 Euphausiidae オキアミ科
 221 *Euphausia mutica*
 222 *Euphausia pacifica*
 223 *Euphausia hemigibba*
 224 *Euphausia recurva*
 225 *Euphausia similis*
 226 *Thysanoessa longipes*
 227 *Thysanoessa inermis*
 228 *Thysanoessa raschii*
 229 *Thysanoessa gregaria*
 230 *Nematoscelis difficilis*
 231 *Nematoscelis microps*
 232 *Stylocheiron carinatum*
- Decapoda 十脚目
 Macrura 游泳亜目
 Sergestidae サクラエビ科
 233 *Lucifer reynaudi*
- 6) CHAETOGNATHA 毛顎動物門
 SAGITTOIDEA 矢虫綱 (現生矢虫綱)
 Aphragmophora 無膜目
 Ctenodontina 櫛歯亜目
 Sagittidae ヤムシ科
 234 *Sagitta hexaptera*
 235 *Sagitta enflata*
 236 *Sagitta bipunctata*
 237 *Sagitta elegans*
 238 *Sagitta bedoti*
 239 *Sagitta serratodentata pacifica*
 240 *Sagitta* spp.

Pterosagittidae	ヘラガタムシ科	241	<i>Pterosagitta draco</i>
Phragmophora	膜筋目		
Eukrohniidae	クローンヤムシ科	242	<i>Eukrohnia hamata</i>
7) PROTOCHORDATA 原索動物門			
UROCHORDA 尾索亜門 (TUNICATA 被囊亜門)			
APPENDICULATA 尾虫綱 (LARVACEA 幼形綱)			
Appendicularia 尾虫目			
Oikopleuridae	オタマボヤ科	243	<i>Oikopleura longicauda</i>
		244	<i>Oikopleura dioica</i>
		245	<i>Oikopleura labradoriensis</i>
		246	<i>Oikopleura gracilis</i>
		247	<i>Oikopleura</i> sp.
PYROSOMATA 火体綱			
Pyrosomida 火体目			
Pyrosomidae	ヒカリボヤ科	248	<i>Pyrosoma atlanticum</i>
THALIACEA サルバ綱			
Doliolida (Cyclomyaria) 環筋目			
Doliolidae	ウミタル科	249	<i>Doliolum denticulatum</i>
		250	<i>Doliolum nationalis</i>
		251	<i>Dolioletta gegenbauri</i>
Salpida (Desmomyaria) 断筋目			
Salpidae	サルバ科	252	<i>Cyclosalpa bakeri</i>
		253	<i>Salpa fusiformis</i>
		254	<i>Salpa cylindrica</i>
		255	<i>Iasis zonaria</i>
		256	<i>Thetys vagina</i>
		257	<i>Thalia democratica</i>
		258	<i>Pegea confoederata</i>
		259	<i>Traustedia multitentaculata</i>

このほか、原生動物・甲殻類のノープリウス幼生、魚類の稚仔および植物プランクトンなど、標本中には出現しているが、本表には記載していない。

また、橈脚類については、研究の進展とともに学名が改訂されているものがあり、近年の知見では次のようになっている (Brodskii, 1965, 1972; Bradford, 1988; Miller, 1989; 上田, 1986)。

64	<i>Calanus finmarchicus</i>	→	<i>Calanus gracialis</i>
65	<i>Calanus helgolandicus</i>	→	<i>Calanus pacificus</i>
		→	<i>Calanus sinicus</i>
66	<i>Calanus tenuicornis</i>	→	<i>Mesocalanus tenuicornis</i>
67	<i>Calanus cristatus</i>	→	<i>Neocalanus cristatus</i>

68	<i>Calanus plumchrus</i>	→	<i>Neocalanus plumchrus</i>
		→	<i>Neocalanus flemingeri</i>
69	<i>Neocalanus mimor</i>	→	<i>Nannocalanus minor</i>
73	<i>Undinula darwini</i>	→	<i>Cosmocalanus darwini</i>
168	<i>Acartia clausi</i>	→	<i>Acartia omorii</i>