

気候変化に対するスルメイカの日本海での分布回遊と 資源量変動に関する研究^{*1}

木所 英昭^{*2}

Impact of climatic changes on the distribution, migration pattern and stock abundance of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* in the Sea of Japan

Hideaki KIDOKORO

Abstract : Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) is one of the most important fisheries resources in Japan and South Korea. In recent years, the total annual landing of Japan and South Korea has been about 500,000 tons. Since 1998, the stock of Japanese common squid has been managed in Japan by Total Allowable Catch (TAC) quota system.

The annual landings of Japanese common squid have varied with oceanographic conditions in decadal or inter decadal cycles, therefore, it was pointed out that the stock size of Japanese common squid may be influenced by climatic regime shifts (CRS) which are the abrupt changes in oceanographic conditions with decadal or inter-decadal cycles. The latest CRS was considered to have happened between 1988 and 1989 (88/89CRS). Sea surface temperature in the northwestern Pacific was basically lower tendency before 88/89CRS (colder regime), but it turned to warmer tendency after 88/89CRS (warmer regime).

Considering the influence of oceanographic conditions on the variability of the stock size of Japanese common squid, it needs not only regulation by the fishing mortality for the proper management of this stock but also the understanding of the influence of CRS on the trend of this stock size.

In this study, for a better understanding of the influence of CRS on the trend of this stock size, the following subjects were examined, 1) Clarification of the stock structure in the Sea of Japan, 2) Changes in the distribution and migration pattern that coincided with CRS, 3) Variability in the stock size and sustainable production with CRS, and a hypothesis on the processes regulating the stock fluctuation with CRS is discussed.

1) Stock structure of Japanese common squid in the Sea of Japan

In order to clarify the stock structure of Japanese common squid in the Sea of Japan, specimens were caught in three areas: offshore area (offshore cohort), inshore area (inshore cohort) and off northern Hokkaido (northern cohort) were examined using statolith microstructure analysis. Furthermore, the spawning migration patterns of these three cohorts were examined based on tagging experiments conducted in June and July 1994-2006.

The average mantle length of offshore cohort was 222.5 mm, inshore cohort was 197.8 mm, and northern Hokkaido cohort was 174.2 mm. No significant differences between estimated average ages of offshore and inshore cohorts (about 210-260 days) were found, and they were estimated to hatch during mainly October and November. However, the

2008年12月22日受理 (Received on December 22, 2008)

^{*1} 北海道大学審査学位論文 (掲載するに際し, 投稿規定に沿って一部修正した)

^{*2} 日本海区水産研究所 〒951-8121 新潟市中央区水道町1丁目5939-22 (Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suidocho, Niigata 951-8121, Japan)

daily growth rate (mm/day) of the offshore cohort was significantly higher than that of the inshore cohort. The estimated age of the northern cohort was about 180–220 days and estimated to hatch mainly in December which was approximately one month later than those of the offshore and the inshore cohorts.

Most recapture records reported during July and September were obtained in the same areas where they were released. In October, while recapture records of the offshore cohort and the inshore cohort were obtained in the spawning area (northern part of the East China Sea and southwestern part of the Sea of Japan), recaptures of the northern cohort were obtained in the offshore area.

Based on the differences in hatch date distribution and migration pattern, the autumn spawning stock could be divided into the three sub-stocks.

2) Changes in the distribution and migration pattern in relation to CRS

Changes in the distribution pattern of Japanese common squid with CRS were examined by comparing the distribution maps of CPUE of the results of experimental jigging surveys conducted in June and July 1979–2007. Changes in the migration pattern between before 88/89CRS and after 88/89CRS were examined based on the tagging experiments conducted in the offshore area of the Sea of Japan in 1984 and 1987–1991.

Since the 88/89CRS, a clear increase of CPUE has been detected off northern Hokkaido. This means that the northern cohort increased drastically after 88/89CRS. Significant differences were detected between before 88/89CRS and after 88/89CRS in the stock index of mantle length less than 21 cm composed mainly of the inshore and northern cohorts. However, no significant difference was obtained between before 88/89CRS and after 88/89CRS in the stock index of mantle length larger than 21 cm composed mainly of the offshore cohort.

The direction of spawning migration in the offshore area was southward before 88/89CRS: that is, from the central part of the Sea of Japan to the inshore area of middle and western Honshu, however it changed into southwestward after 88/89CRS: that is, from the central part of the Sea of Japan to the east off the Korean Peninsula. Although the spawning migration started in mid-September before 88/89CRS, it was delayed to October after 88/89CRS. These changes in spawning migration pattern were consistent with the shift of spawning ground which was observed by a shift in the larval distribution.

3) Variability in the stock size and sustainable production with CRS

The stock size of the Japanese common squid was estimated by a stock index which is the average CPUE of experimental jigging survey by research vessels in June ? July and assumed catchability parameter. Stock size was quantified by supposing that the stock index is proportional to the stock size. Variation in the maximum sustainable production with the CRS was examined by comparing the spawner-recruit relationships estimated before 88/89CRS (colder regime) and after 88/89CRS (warmer regime).

The number of stock individuals was estimated to be about 2 billion individuals (500 thousand tons) in the colder regime. It increased in the warmer regime, and reached about 7 billion individuals (2000 thousand tons) in the beginning of the 2000s. Exploitation rate was 30 %–40 % in the 1980s, it decreased to 20 %–30 % in the 1990s and was less than 20 % in the beginning of the 2000s. The maximum sustainable production estimated in each regime by spawner-recruit relationship was 170 thousand tons in the colder regime and 380 thousand tons in the warmer regime.

4) Conclusions

Stock size of Japanese common squid has increased after 88/89CRS, in particular, the northern Hokkaido cohort. Moreover, not only the stock size but also the hatch date compo-

sition, migration route and spawning grounds of Japanese common squid have also changed with CRS. These changes in ecological properties are considered to play important roles in the changing stock size of Japanese common squid.

We can predict the trend in stock size of Japanese common squid by observing these changes in ecological properties mentioned above, and this can be used to implement appropriate management strategy plans. However, we should be aware that the average yield may doubled or be reduced to half depending on CRS events even if appropriate fishing mortality management strategies are adopted for this stock.

Key Words : Ommastrephid, Regime Shift, Stock management, *Todarodes pacificus*

目 次

緒 言

第1章 日本海におけるスルメイカの資源構造

試料と方法

1. 発生時期および成長
2. 分布域と回遊経路

結 果

1. 発生時期および成長
2. 分布域と回遊経路

考 察

第2章 資源構造および分布回遊の変化

試料と方法

1. 分布・資源構造の変化
2. 回遊経路の変化

結 果

1. 分布・資源構造の変化
2. 回遊経路の変化

考 察

1. 分布・資源構造の変化
2. 回遊経路の変化

第3章 資源量と持続生産量の変化

試料と方法

結 果

考 察

第4章 総合考察

要 旨

謝 辞

文 献

補足資料

寿命は約1年であり、生活史の最後に産卵して死亡する。スルメイカの産卵期は周年にわたるが、秋から冬が主産卵期である。生まれた季節によって分布回遊が異なり、秋に生まれた群は主に日本海に分布・回遊し、漁獲されるのに対し、冬に生まれた群は主に太平洋に分布・回遊し、漁獲される (Fig. 1, 新谷, 1967; Okutani, 1983)。

スルメイカは日本および韓国の重要な漁業資源であり、近年の両国の漁獲量は年間約50万トンである (Fig. 2)。日本では1998年以降、許容漁獲量 (TAC) によるスルメイカの資源管理が行われている。日本における TAC は、生物学的許容漁獲量 (ABC) を基礎として、社会的、経済的要因を加味して決定される。そのため、TAC の基礎となる ABC を算定するために必要な過去の推定資源量と、ABC 対象年の資源量の予測技術の精度向上が早急に求められている。

TAC をはじめとする資源管理では、基本的に、漁獲制御によって今後の資源量を適正水準に維持し、漁獲量を高い水準で安定的に得ることが目標となる。しかし、スルメイカの漁獲量は、これまで中長期的に大きく変化してきた。1960年代は50万トン前後の水準であったが、1970~1980年代には太平洋側を中心に大きく減少し、1980年代半ばには20万トン前後の水準となった (Fig. 1)。その後、1980年代後半以降に増加に転じ、1990年代には1960年代と同水準に回復した。

漁獲量が減少した1970~1980年代では、スルメイカの漁獲量が減少した主要因は、過剰な漁獲による資源量の減少と解析され、資源量の回復には大幅な漁獲努力量の削減 (40~50% に削減) が必要と提言された (土井, 川上, 1979; 長谷川, 1985; 安達, 1988; Murata, 1989)。しかし、韓国では1980年代以降も漁獲努力量が増大した (崔, 1997) にもかかわらず、1980年代後半以降にスルメイカの漁獲量は増加し、1990年代には高水準に達した。スルメイカの漁獲量が高水準に回復すると、スルメイカの資源量は漁獲によ

緒 言

スルメイカ *Todarodes pacificus* は、アカイカ科 *Ommastrephidae* に属し、主に北西太平洋に分布する。

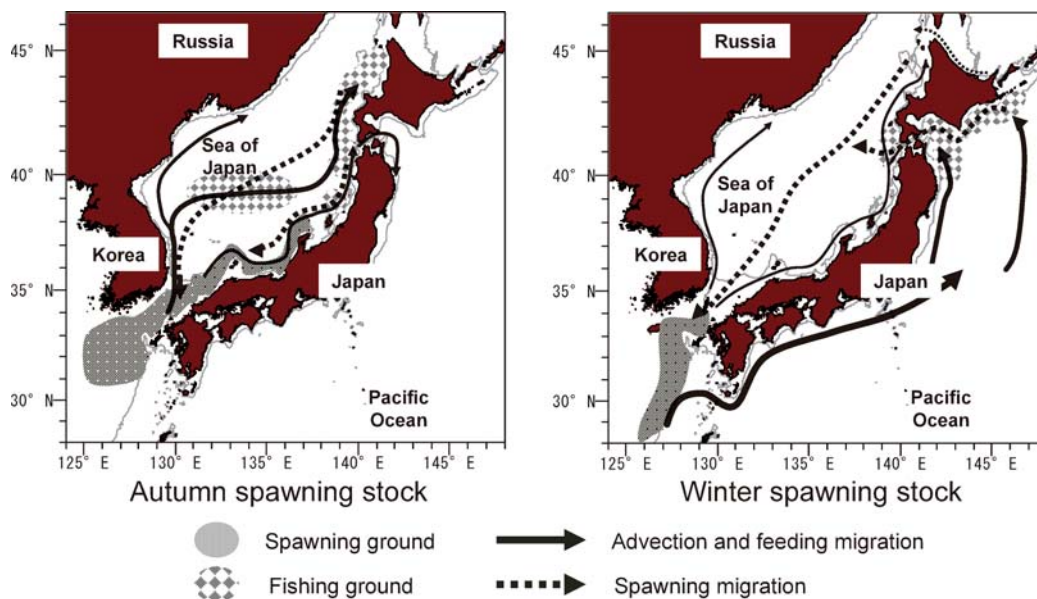


Fig. 1. Schematic diagram of the distribution range and migration route of the autumn and winter spawning stocks of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*.

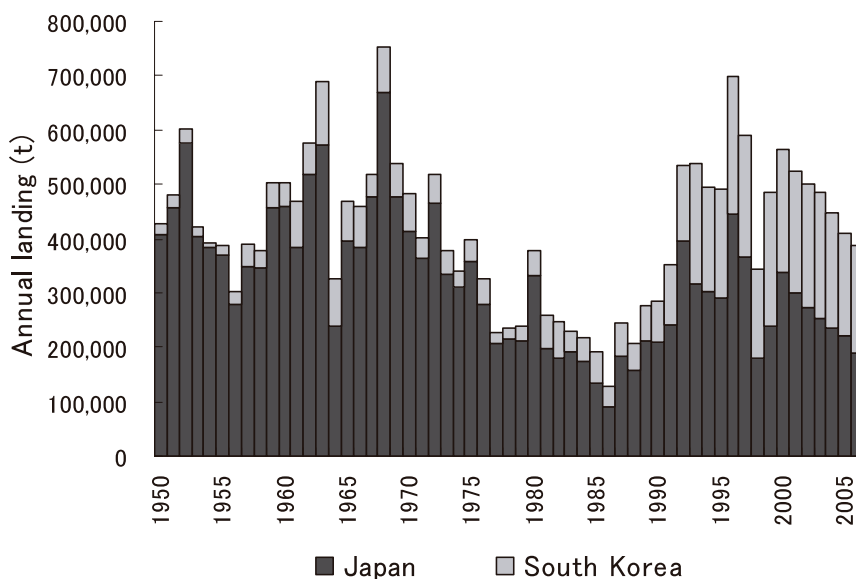


Fig. 2. Annual landings of Japanese common squid by Japanese and South Korean fisheries.

る影響よりもむしろ海洋環境の影響，特に中長期的な海洋環境の変化が大きく影響すると思われるようになった（桜井，1998）。

海洋環境は，地球規模で起きる20年～50年周期の気候の中長期的変化（Climatic regime shift: 以下，CRSとする）とともに，寒冷期と温暖期を繰り返す（Minobe, 1997；Beamish *et al.*, 2000）。過去30年間では，1976

年と1977年を境に起きたCRS（以下，76/77CRSと略する）によって北西太平洋は寒冷期となり，1988年と1989年を境に起きたCRS（以下，88/89CRSと略する）によって温暖期に移行した（Minobe, 1997；Hare and Mantua, 2000）。これらの海洋環境の変化と，スルメイカの漁獲量の変化がほぼ同時であったことから，スルメイカの資源量の変化にはCRSによる海洋環境

の変化が影響することが指摘された(桜井, 1998; Sakurai *et al.*, 2000; 木所ら, 2003)。基本的に, 温暖期ではスルメイカの再生産にとって好適であり, 資源が増加するが, 寒冷期ではスルメイカの再生産にとって不適であり, 資源が減少する傾向がある(桜井, 1998; 木所ら, 2003)。

日本周辺海域における CRS による漁業資源への影響は, 特にマイワシ *Sardinops melanostictus* で顕著に見られる。マイワシの資源量は, 76/77CRS 以降, 大発生的に増加し, 1980年代は日本のマイワシの漁獲量が年間400万トンを超えた。しかし, 88/89CRS 以降には, 加入量が急速に減少し(Watanabe *et al.*, 1995; Noto and Yasuda, 1999), 2002年~2004年のマイワシの漁獲量は年間5万トン前後に低下した。マイワシの資源量は, 寒冷期に増加し, 温暖期に減少しており, マイワシとスルメイカでは反対の変化を示している。なお, CRS による資源変動はマイワシのような小型浮魚類ばかりでなく, サケ類(Beamish *et al.*, 2000; 埴山, 2007), 底魚類(Tian *et al.*, 2006; 二平, 2007)でも報告されている。そのため, 近年では, CRS による影響は, 個々の魚種の資源変動への影響ばかりでなく, 生態系全体への影響として注目されている(Beaugrand, 2004; Tian *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2006; Sakurai, 2007)。

CRS による生物への影響は, 資源量ばかりでなく, 分布回遊, 産卵場および成長成熟様式等の生態的特性にも及ぶ。日本周辺域に広く分布する小型浮魚類であるマイワシやカタクチワシ *Engraulis japonicus* では資源水準の変化と同時に, 主産卵期や産卵場, および分布回遊範囲をはじめとする生活史特性が大きく変化した(和田, 1988; 黒田, 1991; Watanabe *et al.*, 1996; Zenitani *et al.*, 2000; 渡邊, 高橋, 2007)。さらに, CRS による海洋環境の変化が, 産卵場形成等の生態的特性を通じて資源量変動を引き起こす要因になったと推察されている(Takasuka *et al.*, 2007)。このように, CRS が与える生態的特性の変化を明らかにすることは, CRS による資源変動機構を明らかにする上での重要な要素の一つになっている。

一般に, 資源管理では, 最適な漁獲制御によって資源量水準を安定的に良好な水準に保ち, 漁獲量を高水準で安定的に得ることが目標となる(Quinn and Deriso 1999)。しかし, 漁業資源の変動要因として, 漁業による影響に加えて, CRS による海洋環境の影響が指摘されると, 漁業資源の的確な管理には漁獲制御に加え, 海洋環境の影響も含めた資源管理方策の検討が必要となった(Walters and Parma, 1996; Yatsu *et al.*, 2005; 谷津, 2005; 川崎, 2007)。そのために

は, CRS の早期把握と予測手法の開発, および CRS による資源量水準および再生産力の変化の定量的な把握が重要である。しかし, 現在の CRS の検出方法は, 主に時系列データの解析によって行われる(Beamish *et al.*, 2000; Mantua, 2004)ため, CRS が起きてから数年間のデータ蓄積が必要であり, CRS の判断には時間遅れが生じる。また, CRS を生じさせる機構も明らかでなく, いつ起きるかの予測もほとんど出来ない(Mantua, 2004)。そこで, 時系列データの解析以外とは別に, CRS による生態的特性の変化を把握し, CRS を判断することによって, 今後の資源動向を予測し, 資源管理方策に応用することが有用と考える。

スルメイカの資源変動に与える CRS の影響に関する研究は, これまで, 主に産卵生態や初期生活史に注目して行われてきた(Sakurai *et al.*, 2000; Goto, 2002; 山本, 2002; 森, 2006)。その結果, スルメイカでも資源水準の変化とともに産卵場が拡大, 縮小したことが明らかとなり(笠原, 1987; Goto, 2002; 森, 2006), CRS にもなう産卵場形成や孵化幼生の生残率の変化が, スルメイカの資源量変動を引き起こす主要因と考えられている(桜井1998; Sakurai *et al.*, 2000; 木所ら2003; 桜井ら2005; 森, 2006)。しかし, 初期生活史以外の生態, 例えば, 漁獲加入後の分布状況や資源構造, および漁業への影響に関する研究は少なく, 太平洋側では1970年代以降に資源量が大きく減少し, それとともに資源構造や分布回遊が大きく変化したことが報告されているものの(Nakata, 1993), 日本海では分布域や資源構造の変化はほとんど報告されていない。したがって, マイワシで推察されている産卵場の変化と, 分布域および資源量の拡大との関連(Watanabe *et al.*, 1996)がスルメイカでは明らかでない。

本研究では, スルメイカの資源構造, 分布回遊, および再生産力が CRS に対してどのように応答するかを明らかにし, CRS によるスルメイカの資源変動特性を明らかにすること, および, 資源変動特性を用いた適切な資源利用および管理方策を検討することを目的とした。そのため本研究では, 特に日本海に分布するスルメイカを対象として, 過去約30年間に実施された調査船調査結果を用いて, 88/89CRS によって資源が回復した1980年代から1990年代の生態的特性, および資源構造の変化に注目して検討した。

なお, スルメイカの資源構造は, これまで季節別発生群が想定されてきた(新谷, 1967)が, 資源管理単位としての具体的な区分基準は曖昧であった。そのため, 資源評価および資源管理の単位(系群, Stock)として用いる場合, 具体的な区分方法に関する問題が

指摘されてきた(安達, 1988; 中田, 1994)。現在, 水産庁が推進している資源評価調査では, 季節別発生群の考えをもとに秋季発生系群と冬季発生系群に区分して資源評価が行われているが, この系群区分における分布回遊と発生時期の隔離状況は検証されておらず, 資源評価単位としての妥当性は十分に検討されているとは言い難い(森, 2006)。特に日本海では, 太平洋からの移入群も含め, 複数の季節別発生群が分布回遊しており, 資源構造が複雑である。そこで, CRSによる資源管理方策および資源構造の変化を明らかにする前に, 日本海を中心にスルメイカの資源構造の再整理を行なった。

本論文の構成として, まず第1章において, 日本海各海域に分布するスルメイカの発生時期を推定するとともに標識放流調査結果を用いて, スルメイカの資源構造について検討した。第2章では, CRSに対するスルメイカの応答として, 資源が低水準であった1980年代から高水準になった1990年代以降の分布状況, および系群構造の変化を調べた。また, 産卵場形成と深く関係すると考える産卵回遊経路の変化も調べた。第3章では, 資源量を定量的に推定することで, CRSによる資源水準および持続生産量の定量的な変化を検討した。そして, 第4章の総合考察で, 以上で得られたCRSにともなう資源変動特性を整理するとともに, CRSに応じたスルメイカの的確な資源利用および資源管理方策への提言を行った。

第1章 日本海におけるスルメイカの資源構造

添田(1950)は, 主漁場の季節的变化や標識放流調査結果をもとに, スルメイカは日本沿岸を大回遊する一つの群で構成されると報告した。しかし, その後, 日本沿岸を回遊する群に加え, 日本海沖合には沿岸よりも発生時期が早く, 魚体が大型の群が存在することが報告された(伊東ら, 1965; 浜部, 清水, 1966)。また, 日本海沿岸には量的には少ないものの, 春~夏季に成熟する群も含まれることが報告された(加藤, 1959; 1960; 浜部, 清水, 1966)。このように, スルメイカには分布・回遊が異なる複数の群が存在し, それぞれ発生時期が異なることから, 新谷(1967)は, スルメイカの群構造を次のように区分して整理した。すなわち, 太平洋沿岸および北海道周辺海域を主漁場として沿岸を大回遊する群を冬生まれ群, 主に日本海の沖合域に分布して漁獲対象となる群を秋生まれ群, 主に沿岸に分布して春~夏に成熟する群を夏生まれ群とした。現在ではこの季節別発生群による群区分がスルメイカの一般的な群構造に用いられている

(Okutani, 1983; Murata, 1989)。しかし, 新谷(1967)による季節別発生群の区分は, 発生時期の推定が困難であったことから, 各群の発生時期の範囲が明確でなく(新谷, 石井, 1972), さらに研究者によって区分基準となる発生時期の範囲が異なる問題点も指摘された(中田, 1994)。

資源評価および資源管理の単位となる系群(Stock)では, 漁獲量を集計するとともに, 資源量を推定する必要があり, 定量的な区分方法が必要となる。しかし, 新谷(1967)による季節別発生群の区分は, 定量的な漁獲量の区分方法が不明瞭であった。したがって, 日本海では沿岸で漁獲されたスルメイカを冬生まれ群, 沖合で漁獲されたスルメイカを秋生まれ群に便宜的に区分して資源評価がなされてきた(Okutani 1977; Murata, 1989)。沿岸と沖合で系群区分する方法の問題点は, 安達(1988)によって指摘されるとともに, 新たに系群区分として, 漁獲物の外套背長組成による区分方法が提案された。しかし, 各漁獲時期において, どの外套背長を基準に各系群を区分するかは不明なため, 系群区分の明確な基準は確立されなかった。

1990年代に入り, スルメイカの平衡石の微細構造の形成に日周性があることが確認され(Nakamura and Sakurai, 1991), 平衡石の微細構造(日周輪)を用いた日齢査定手法が急速に普及した。その結果, これまでの外套背長, 成熟度から推定した孵化時期と実際の発生時期では違いが見られること, 同じ秋生まれ群と判断された個体でも海域によって推定孵化日が異なる場合もあることが指摘されるようになった(Nakamura and Sakurai, 1993; 坂口, 中田, 2006)。このように, 平衡石を用いた日齢査定法によって, これまでの季節別発生群の区分基準において不明瞭であった発生時期の範囲を, 具体的に提供することが可能と期待されている(魚住, 1993)。

本章では, 平衡石による日齢査定手法を用いて日本海各海域で従来の区分では異なる系群として区分されるスルメイカ(秋生まれ群: 沖合, 冬生まれ群: 沿岸および道北)の発生時期を推定した。加えて, 標識放流調査の再捕結果を用いて各海域に分布するスルメイカの主要な漁獲時期および移動状況を調べた。以上の結果をもとに日本海におけるスルメイカの主要な孵化時期を再検討するとともに, これまでの資源解析で用いられてきた系群区分方法, および現在資源評価調査で用いられている系群区分方法の検証を行った。

試料と方法

1. 発生時期および成長

採集海域 1993~1996年の6月下旬から7月上旬に、沖合、沿岸および道北で採集したスルメイカを試料に用いた (Fig. 3, Table 1)。これらは、調査船鳥海丸 (452 t) の自動イカ釣機で採集した後、採集後すみやかに冷凍保存した。試料は調査航海終了後に陸上で解凍し、外套背長 (mm)、体重 (g)、雌雄の各

生殖腺重量 (0.1 g) を測定した後、頭部を切開し、平衡石を取り出した。取り出した平衡石は、アルコールで洗浄した後、乾燥状態で保存した。

測定した体重と生殖腺重量を用いて生殖腺重量指数を算出し、成熟状況の指標に用いた。生殖腺重量指数は、雄では精巣重量指数 (TSI) = 精巣重量 / 体重 (%), 雌では生殖腺重量指数 (GSI) = (卵巣重量 + 輸卵管重量) / 体重 (%) を指標値として用いた。

日齢と孵化日 日齢は平衡石の微細構造を用いた日

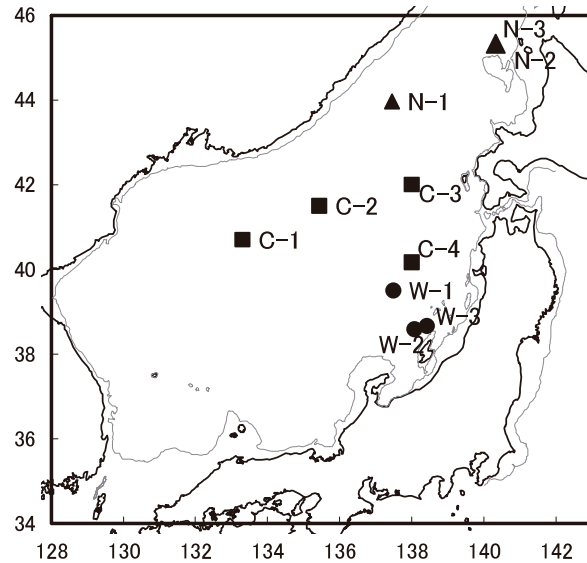


Fig. 3. Location of stations where specimens were collected for the statolith microstructure analysis. W-1 to W-3 are stations in the inshore area, C-1 to C-4 are station in the offshore area and N-1 to N-3 are stations in the northern Hokkaido area.

Table 1. Dates and locations of stations where the specimens were collected for the statolith microstructure analysis

Area	Station	Date	Number of Catch	Number of specimens		
				Male	Female	Total
Offshore	C-1	03-Jul-94	2886	11	9	20
	C-2	07-Jul-94	1479	6	9	15
	C-3	09-Jul-95	6181	11	11	22
	C-4	09-Jul-96	1784	17	16	33
Inshore	W-1	28-Jun-94	712	15	11	26
	W-2	30-Jun-94	2780	15	17	32
	W-3	21-Jun-96	1848	10	14	24
Northern Hokkaido	N-1	04-Jul-93	5808	8	16	24
	N-2	04-Jul-95	6058	14	21	35
	N-3	04-Jul-96	23101	14	19	33

年齢査定手法で推定した。日齢査定は、平衡石の凸面を上へエポキシ系の接着剤（2液混合型）でスライドガラス上に固定し、平衡石の凸面を耐水紙ヤスリで研磨した。平衡石の研磨は表面の微細構造を顕微鏡で観察しながら、核から長軸方向の日周輪がよく観察できるまで行った。顕微鏡観察は、接眼レンズ10倍、対物レンズ100倍の装置（オリンパス社 BX-50）で、CCDカメラより画像を15インチのテレビモニターに映して行った。ただし、平衡石の縁辺部の日周輪は、研磨が困難であり、日周輪も不鮮明であり判読不可能な場合が多かった。そのため、縁辺付近の日周輪は近縁部の輪紋間隔を外挿して計数した。輪紋の計数はオリンパス社製ビデオマイクロメーター（VM-30）を用い、1検体に対して4回行い、最小値と最大値を除いた値の平均を計数値として扱った。各採集調査点で採集した個体のうち、日齢の査定結果を試みた個体数は Table 1 の通りであった。以上の手法で推定した日齢と採集月日より孵化日を推定し、採集海域による違いを調べた。

成長率および日齢と成熟の関係 日齢と外套背長より日間成長率（外套背長/日齢）を求め、各海域における成長および成熟と日齢の関係を調べるとともに、海域による違いを検討した。成長は、外套背長を日齢で割って1日あたりの成長率を求めて指標とした。また、日齢と生殖腺重量指数の関係を、散布図で調べるとともに海域間の違いを検討した。

海域間の比較 各海域で採集した個体の平均外套背長、ふ化後の日数の平均値および日間成長率の平均値を一元配置の分散分析によって検定し、海域間の違いを調べた。分散分析によって有意差が認められた場合は、3海域間の対比較を *t*-test によって行い、Bonferroni 法によって有意水準を補正して検定した。

2. 分布域と回遊経路

1992～2005年の6月下旬から7月上旬に、日本海沖合、沿岸及び道北沿岸で行った標識放流調査（Fig. 4）の再捕結果を用いた。標識放流調査は、調査船鳥海丸（452 t）によってスルメイカの採集数の多かった調査点で実施され、1調査点あたり339個体から9,600個体のスルメイカが放流された（Table 2）。標識はアンカー型タグを用い、自動イカ釣りで採集後速やかに標識を取り付けて放流した。

再捕結果の整理は、標識放流を行った海域（沖合、沿岸、道北）ごとに、月別の再捕結果を整理した。再捕結果の整理は、再捕報告のあった位置を緯度経度1度のグリッドに分けて再捕数を月別に集計し、海域毎の移動状況、交流状況および漁業による利用状況を調べ、資源評価および管理単位としての独立性を検討した。なお、再捕報告は年による区分を行わず、調査を行った期間に得られた結果をプールして整理した。

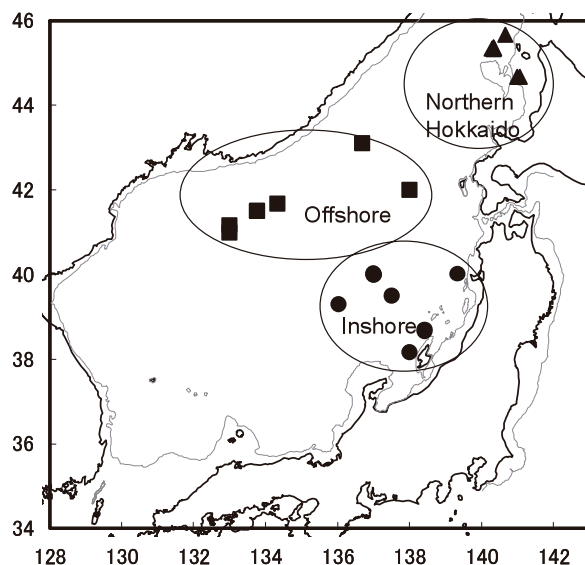


Fig. 4. Location of stations where the tagged squids were released. In this figure, symbols are represent the stations in (●) inshore area, (■) offshore area and (▲) northern Hokkaido area.

Table 2. Number of squid released, dates and locations of stations where the tagging experiments were conducted

Area	Station	Date	Latitude N°		Longitude E°		Number of release
Offshore	A-1	09-Jul-92	43	6	136	41	1000
Offshore	A-2	14-Jul-92	41	30	133	46	1000
Offshore	A-3	10-Jul-93	41	30	133	46	1300
Offshore	A-4	28-Jun-97	41	10	133	0	3280
Offshore	A-5	29-Jun-97	41	40	134	20	4295
Offshore	A-6	10-Jul-98	42	0	138	0	1361
Offshore	A-7	25-Jun-05	40	59	133	0	9600
Offshore total			0	0	0	0	21836
Inshore	B-1	02-Jul-92	39	30	137	30	495
Inshore	B-2	29-Jun-94	39	18	136	2	399
Inshore	B-3	23-Jun-95	38	40	138	25	942
Inshore	B-4	24-Jun-95	40	0	137	0	339
Inshore	B-5	24-Jun-97	38	42	138	25	1039
Inshore	B-6	13-Jul-97	38	10	138	0	4180
Inshore	B-7	23-Jun-99	40	2	137	0	2000
Inshore	B-8	23-Jun-01	39	60	137	0	3000
Inshore	B-9	08-Jul-03	40	1	139	20	3000
Inshore total							15394
Northern	C-1	04-Jul-96	45	20	140	20	8340
Northern	C-2	06-Jul-99	45	22	140	20	3000
Northern	C-3	03-Jul-00	44	40	141	4	1500
Northern	C-4	04-Jul-00	45	21	140	17	4300
Northern	C-5	07-Jul-01	45	20	140	21	3000
Northern	C-6	02-Jul-02	45	40	140	40	9000
Northern	C-7	04-Jul-04	44	40	140	59	2700
Northern Hokkaido total			0	0	0	0	31840

結 果

1. 発生時期および成長

採集海域と試料 試料のスルメイカを採集した沖合および沿岸は、表面水温がそれぞれ16~18℃および20℃前後であり、大きな差はなかった (Fig. 5)。しかし、水深50 mの水温は日本海沖合域では2~5℃であるのに対し、沿岸では15℃前後であり、10℃以上異なっていた (Fig. 5)。基本的に、沖合は亜寒帯水域、沿岸は対馬暖流域に分類される (長沼, 2000)。また、道北の表面水温は14℃前後であり、沖合よりも低い、水深50 mの水温は5~10℃であり、沖合よりも高かった (Fig. 5)。

試料に用いた個体の外套背長は Fig. 6に示した。

沖合では主に200~250 mm, 平均222.5 mm, 沿岸では沖合よりも小さく, 主に180~220 mm, 平均197.8 mmであった。道北ではさらに小さく, 主に160~190 mm, 平均174.2 mmであった。海域間の平均外套背長には有意な差 ($p < 0.001$) が認められ, 各3海域間のとも平均外套背長が有意に異なっていた ($p < 0.001$)。

試料に用いた雄の TSI (精巣重量/体重 (%)) は, 沖合では210 mm 以上より0.5 %を超える個体が多くなり, 230 mm 以上では成熟の目安の一つとなる2.0 % (池田ら1991a) を超える個体が多くなった (Fig. 7)。沿岸では, 沖合よりも小さい外套背長190 mm 以上で TSI が0.5 %を超える個体が多くなり, 200 mm 以上では TSI が2.0 %を超える個体が多くなった (Fig. 7)。

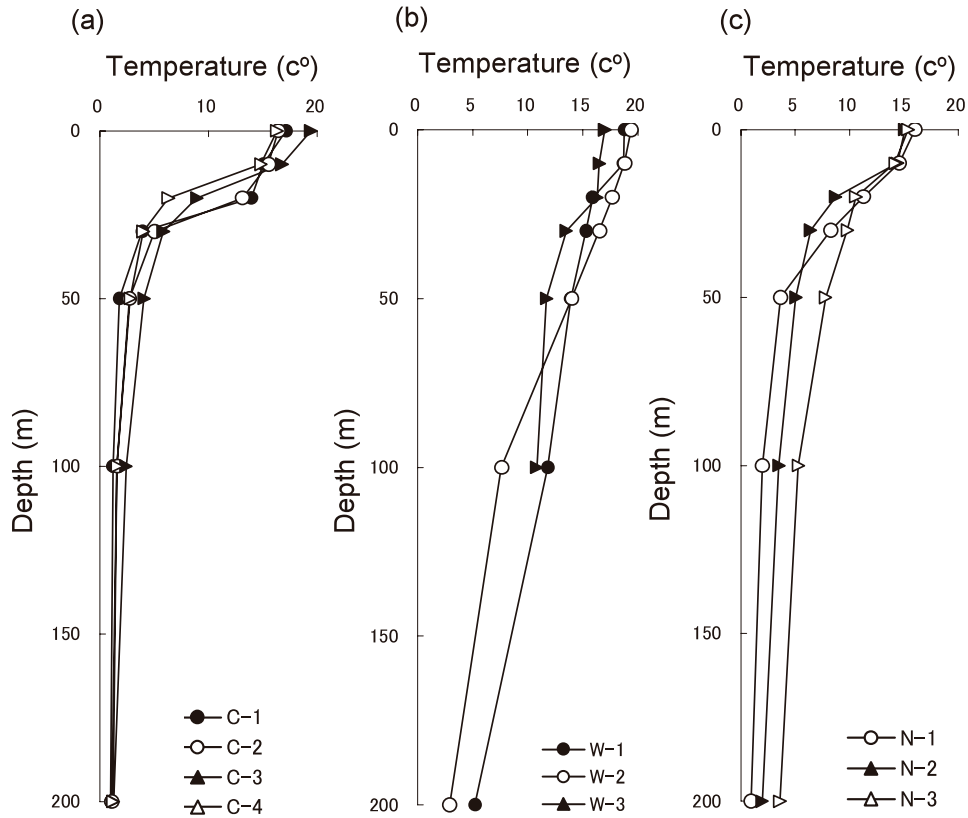


Fig. 5. Vertical profiles of water temperature at stations where specimens for the statolith microstructure analysis were collected. (a) offshore area, (b) inshore area, (c) northern Hokkaido area

道北で採集した個体の生殖腺は0.1 g程度、TSIも0.5%未満がほとんどであり、池田ほか(1991a)の基準では、精巣が未発達な個体に相当した(Fig. 7)。

試料に用いた雌のGSI(卵巣と輸卵管重量/体重(%))は、沿岸では1.0%を超える個体が数個あり、9%を超えた成熟状態の個体もあった(Fig. 7)。しかし、他の海域では生殖器官の発達開始の目安となるGSI=1.0%(池田ほか1991b)に達しない個体がほとんどであった(Fig. 7)。

ふ化後の日数と発生時期 平衡石を用いてふ化後の日数を推定した結果、沖合で採集した個体のふ化後の日数は210~260日の範囲が多く、平均232.8日であった(Fig. 8)。沿岸で採集した個体も沖合で採集した個体と同様にふ化後の日数が210~260日の個体が多く、平均231.2日であった(Fig. 8)。一方、道北で採集した個体のふ化後の日数は、180~220日の範囲が多く、平均205.2日であった(Fig. 8)。ふ化後の日数の平均値は、海域間に有意な差が認められた($p<0.001$)。各海域間の比較では、沿岸と沖合では有意な違いが認められないが、道北のふ化後の日数は沿岸および道

北よりも約30日小さく、これらの海域間では有意な差($p<0.001$)が認められた(Fig. 8)。

ふ化後の日数と採集月日よりふ化日を計算すると、沖合で採集した個体は、11月中旬をピークに10月下旬から12月上旬に生まれた個体が多かった(Fig. 9)。沖合の採集個体と同様に、沿岸の採集個体も11月中旬をピークに10月中旬から12月上旬に生まれた個体が多かった(Fig. 9)。一方、道北の採集個体は、12月中旬をピークに11月下旬から12月下旬に生まれた個体が多かった(Fig. 9)。

成長率と成熟 各海域におけるふ化後の日数と外套背長の関係をFig. 10に示す。沖合ではふ化後220~240日で外套背長220~240 mmに達していたが、沿岸ではふ化後の日数が同じ220~240日でも外套背長は200 mm前後であった。また、道北ではふ化後200~220日で180 mm程度と小型であった。日齢査定結果と外套背長から計算した1日あたりの成長率の平均値は、沖合が0.96 (mm/d)、沿岸が0.86 (mm/d)、道北が0.85 (mm/d)であり、海域間に有意な差($p<0.001$)が認められた(Fig. 11)。各海域間の比較では、沿

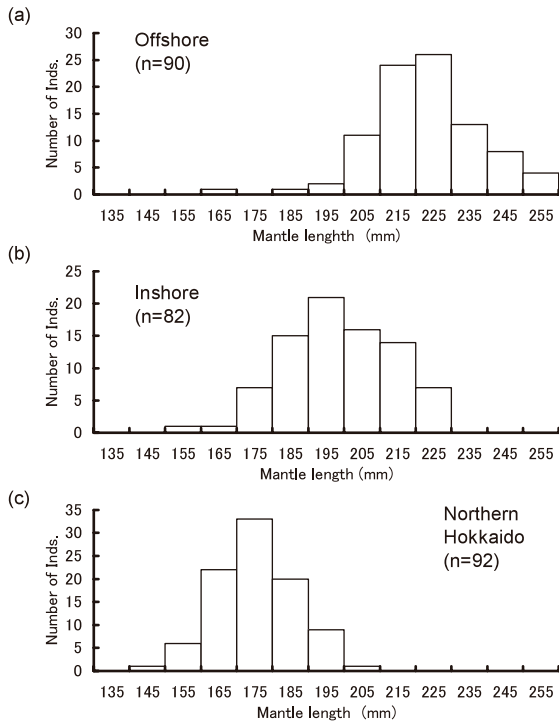


Fig. 6. Mantle length distributions of the specimens for the statolith microstructure analysis that were collected in (a) offshore area, (b) inshore area, and (c) northern Hokkaido area.

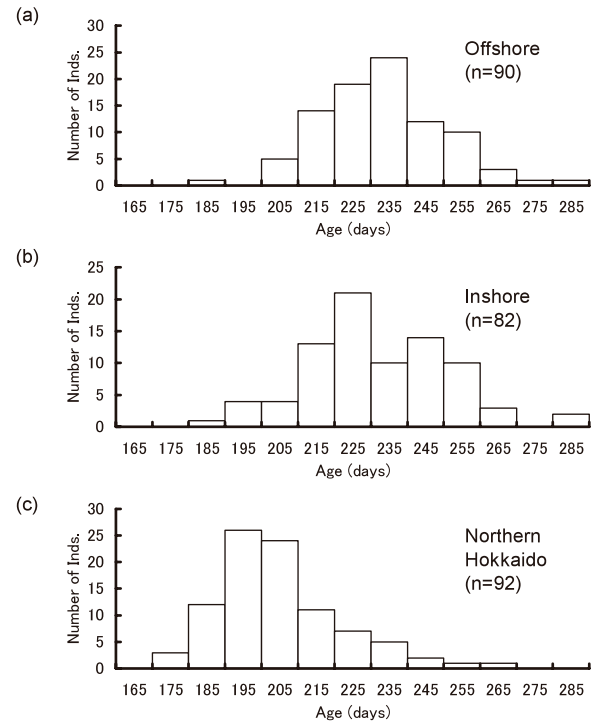


Fig. 8. Age (days) composition of specimens collected in (a) offshore area, (b) inshore area, and (c) northern Hokkaido area estimated from the statolith microstructure analysis (see Table 1).

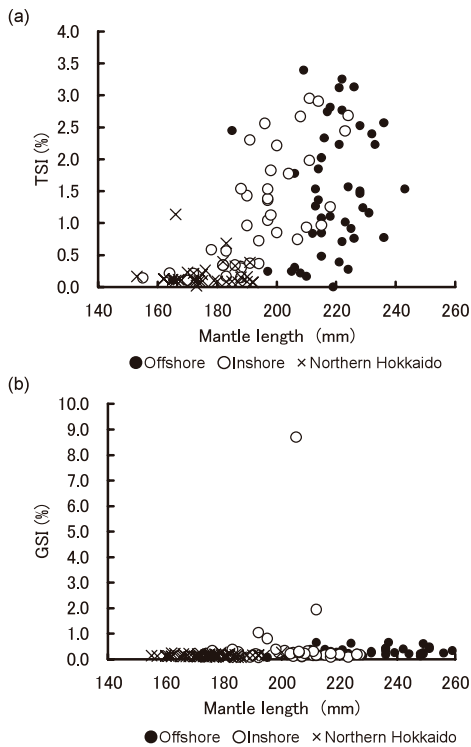


Fig. 7. Relationships between mantle length and gonadosomatic indices. (a) Relationship between TSI (testis weight per body weight) and mantle length for male. (b) Relationship between GSI (ovary and oviduct weight per body weight) and mantle length for female.

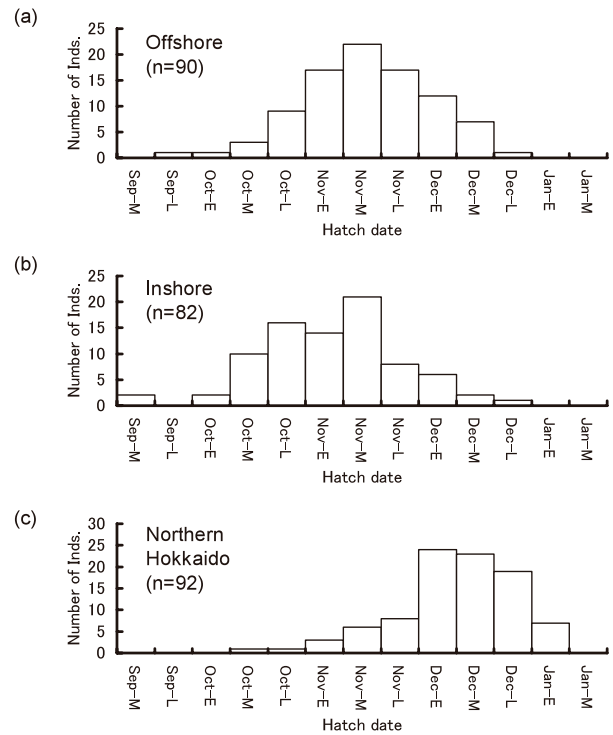


Fig. 9. Hatch date composition of specimens collected in (a) offshore area, (b) inshore area, and (c) northern Hokkaido area.

岸と道北では有意な違いが認められないが、沖合の成長率は、沿岸および道北よりも成長率が高く、これらの海域間では有意な差 ($p < 0.001$) が認められた (Fig. 11)。

ふ化後の日数と TSI の関係は、沿岸、沖合ともふ化後の日数が210日を越えると TSI が0.5 % を超える個体が多くなり、240日以降では2.0 % を超える個体も多かった (Fig. 12)。道北では TSI が0.1 % 以下の個体が多く、ふ化後の日数との関係は検討できなかった (Fig. 12)。TSI と外套背長の関係では、成長率に違いが見られた沖合と沿岸では、TSI が増加する外套背長が異なっていたが、日齢では違いが見られず、雄の精巣の発達には外套背長よりもふ化後の日数と関係があることが示された。

雌の成熟とふ化後の日数の関係では、沖合および道北では GSI が低く、成熟とふ化後の日数との関係は検討できなかった (Fig. 12)。沿岸ではふ化後280日までは GSI が1 % 以下と低く、生殖器官はほとんど未発達であったが、ふ化後280日以降の個体では GSI が9 % に達し、成熟状態した個体もあった (Fig. 12)。雄と比較して雌では生殖器官の発達が低い個体が多く、ふ化後の日数と成熟の関係は明確ではないものの、ふ化後9ヶ月以降に急速に発達しており、ふ化後の日数との関係が示唆された。

2. 分布域と回遊経路

CTD による標識放流調査点の各層水温分布を Fig. 13 に示す。沖合の調査点は16~18°Cであったが、水深50 m では5°C以下であった。沿岸の調査点は、表面水温が20°C前後、水深50 m 水温は10~15°Cであった。道北の調査点の表面水温は14°C前後であり、沖合の調査点よりも低かったが、水深50 m の水温は5~10°Cであり、沖合の調査点よりも高かった。

放流調査点で同時に採集したスルメイカの外殻背長組成を Fig. 14 に示す。沖合では主に200~250 mm であり、各調査点の平均値は227.8~239.9 mm、沿岸では沖合よりも小さく、主に180~220 mm、各調査点の平均値は193.4~217.0 mm であった。道北ではさらに小さく、主に160~190 mm、各調査点の平均値は164.4~179.3 mm であった。基本的に各海域とも日齢査定に用いた試料と同様の大きさであった。

各調査点における各月の再捕数および再捕率を Table 3 に示す。再捕数が最も多かった月は放流した海域によって異なっており、沿岸では7月の再捕数が最も多かったが、沖合では8月、道北では9月の再捕数が最も多かった。再捕率は沿岸が1.2 % で最も高かったが、沖合では0.6 %、道北では0.3 % であった。道北では経年的な傾向は見られないが、沿岸および沖合では実施年の経過とともに再捕率が低下する傾向が

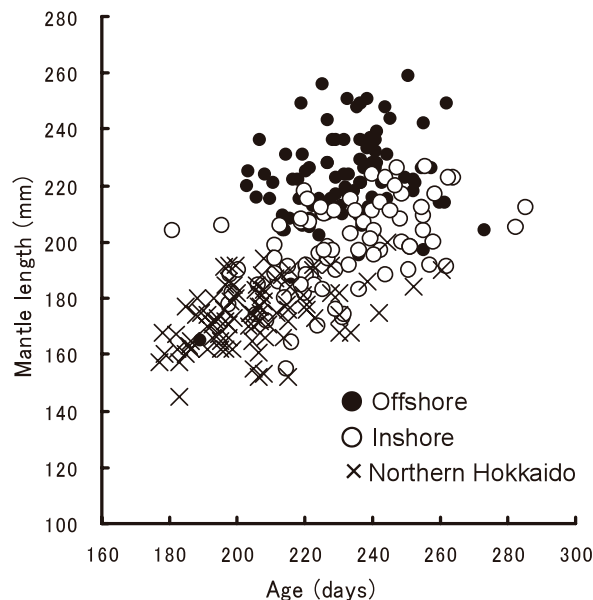


Fig. 10. Relationship between mantle length and age (days) of specimens collected in (a) offshore area, (b) inshore area, and (c) northern Hokkaido area.

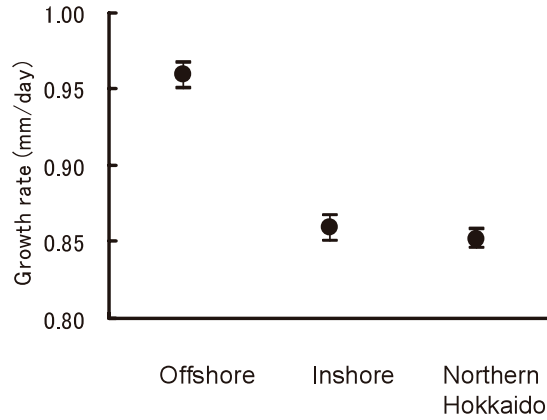


Fig. 11. Average growth rate (mm/day) of specimens collected in (a) offshore area, (b) inshore area, and (c) northern Hokkaido area.

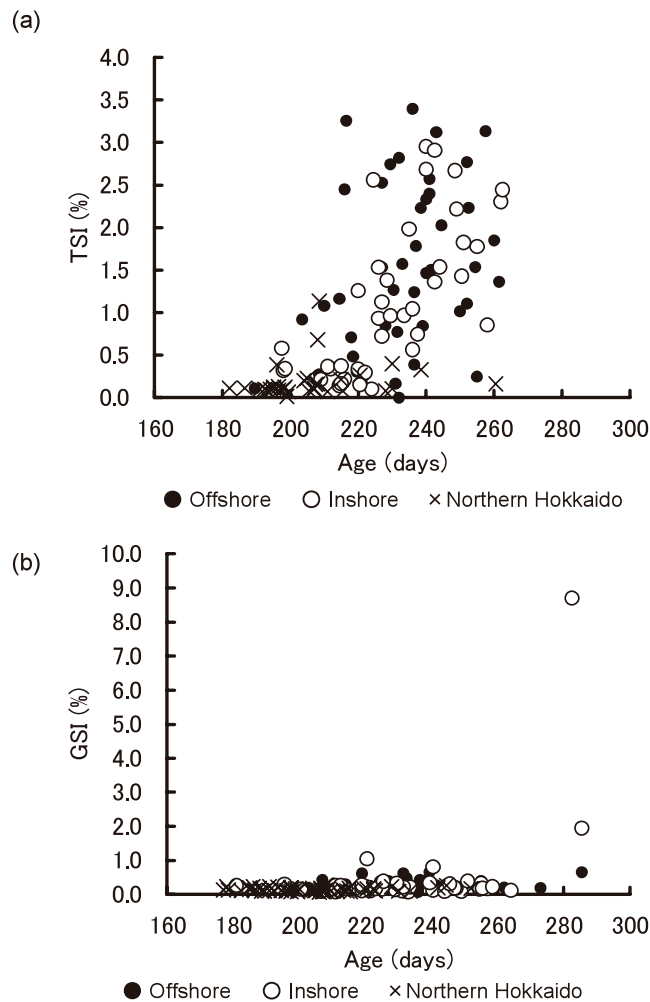


Fig. 12. Relationship between age (days) and gonadosomatic indices. (a) Relationship between age (days) and TSI (testis weight per body weight) for male. (b) Relationship between age (days) and GSI (ovary and oviduct weight per body weight) for female.

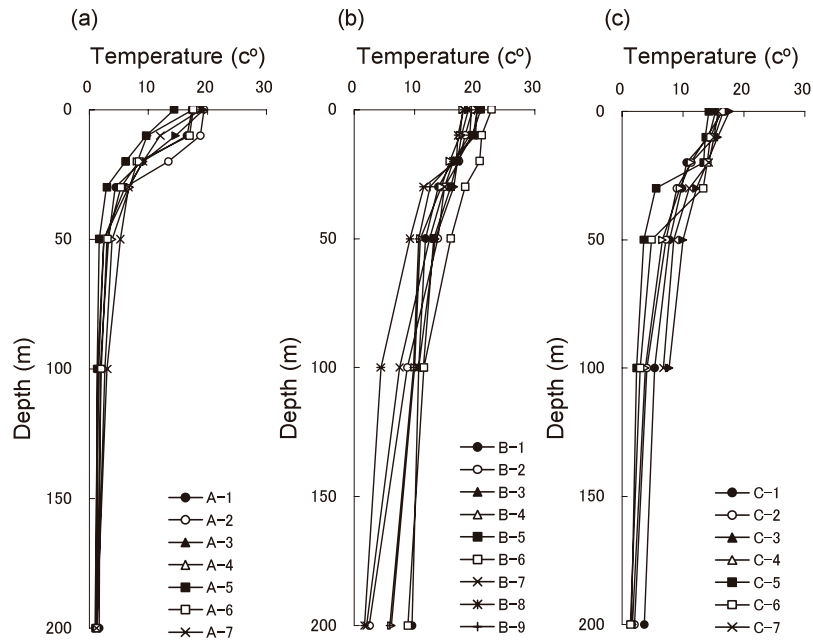


Fig. 13. Vertical profiles of water temperature at stations where tagged squid were released. (a) offshore area, (b) inshore area, (c) northern Hokkaido area.

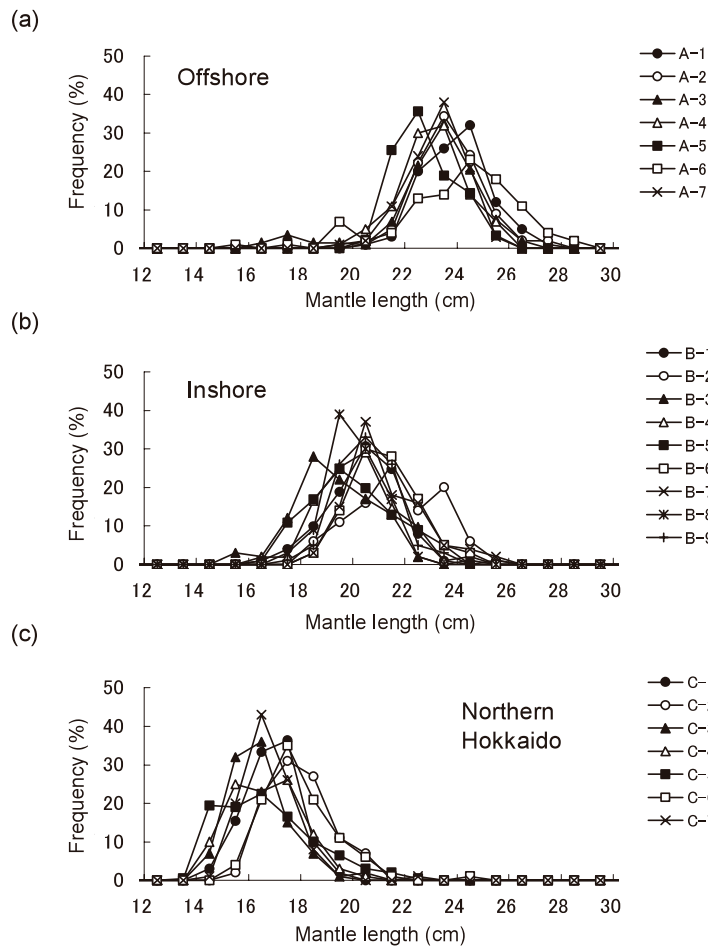


Fig. 14. Mantle length distribution of Japanese common squid collected at stations where tagged squid were released. (a) offshore area, (b) inshore area, and (c) northern Hokkaido area.

見られた。

沖合で放流したスルメイカの再捕結果を Fig. 15 に示す。7～8月は放流した沿海州南部から大和堆周辺海域で多く再捕された。9月には再捕数が減少したが、大和堆周辺海域の他、山陰沿岸でも再捕があり、一部沿岸への南下が見られた。10月には再捕報告は3例のみであったが、対馬海峡から東シナ海北部の海域より得られた。しかし、10月には放流を行った沖合では再捕されず、魚群が産卵海域に全て移動する状況が見られた。

沿岸で放流したスルメイカの再捕結果を Fig. 16 に示す。7月～8月は放流した沿岸の佐渡周辺海域および津軽海峡周辺海域で多く再捕された。また、7～8月は北緯40度東経137度の沖合でも少数ながら再捕された。9月には再捕個体数は大幅に減少したが、放流

した海域で主に再捕された。また、一部沖合でも再捕報告が得られ、個体数は少ないものの、7～8月と比較して沖合での再捕割合が高くなった。10月は再捕数が更に減少し、北陸沿岸から3例が得られたのみであった。

道北で放流したスルメイカの再捕結果を Fig. 17 に示す。7～8月は再捕数が少なく、北海道周辺で少数が再捕された。9月になると再捕数が増加し、主に放流海域付近の北緯43度以北の海域で再捕報告が得られた。また、大和堆付近およびオホーツク海からも少数ながら再捕報告が得られた。10月には9月同様に道北を中心とした再捕報告とともに大和堆南での再捕が増加し、南下する状況が見られた。また、9月同様オホーツク海からも再捕報告があった。11月以降は放流海域である道北での再捕がなくなるとともに、北緯40度

Table 3. Monthly changes in the number of recaptured squids. N.D. means no data of recaptured date

Area	Station	Release date	Number of recaptures							Total	recapture rate	
			Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	N.D.			
Offshore	A-1	09-Jul-92	2	5	4						11	1.1%
Offshore	A-2	14-Jul-92		7	3						10	1.0%
Offshore	A-3	10-Jul-93	15	6	4						25	1.9%
Offshore	A-4	28-Jun-97	3	6		1					10	0.3%
Offshore	A-5	29-Jun-97	2	16	3	2					23	0.5%
Offshore	A-6	10-Jul-98		9	4						13	1.0%
Offshore	A-7	25-Jun-05	30	7	2						39	0.4%
Offshore total			52	56	20	3	0	0			131	0.6%
Inshore	B-1	02-Jul-92	4	4	4					1	13	2.6%
Inshore	B-2	29-Jun-94	5	2	1						8	2.0%
Inshore	B-3	23-Jun-95	30	6	1						37	3.9%
Inshore	B-4	24-Jun-95	8	2							10	2.9%
Inshore	B-5	24-Jun-97	10	4	2						16	1.5%
Inshore	B-6	13-Jul-97	19	13	11	3					46	1.1%
Inshore	B-7	23-Jun-99	11	5	1						17	0.9%
Inshore	B-8	23-Jun-01	15	1	3						19	0.6%
Inshore	B-9	08-Jul-03	13	6	1						19	0.6%
Inshore total			115	43	24	3	0	0			185	1.2%
Northern	C-1	04-Jul-96		1	7	8	1	2	1		20	0.2%
Northern	C-2	06-Jul-99	1	2	4	1					8	0.3%
Northern	C-3	03-Jul-00	1	1	2	2			1		7	0.5%
Northern	C-4	04-Jul-00			6	3	1	2			12	0.3%
Northern	C-5	07-Jul-01		1	9	6					16	0.5%
Northern	C-6	02-Jul-02	1		5	3	2	1	1		13	0.1%
Northern	C-7	04-Jul-04		3	6	2			2		13	0.5%
Northern Hokkaido total			3	8	39	25	4	7			89	0.3%

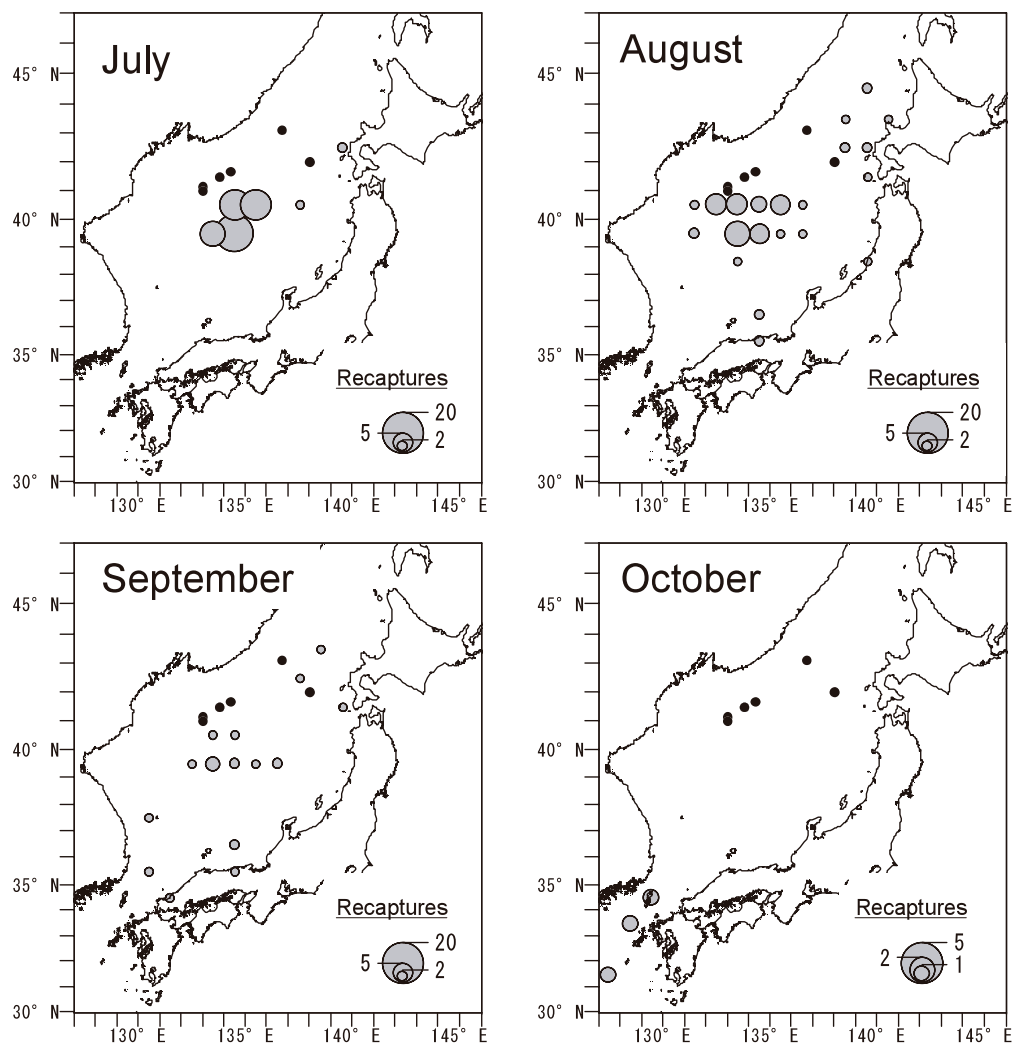


Fig. 15. Monthly changes in the recapture sites of tagged squids that were released in the offshore area. The areas of gray circles represent the number of recaptures by 1° longitude \times 1° latitude grids and black circles indicate the release sites.

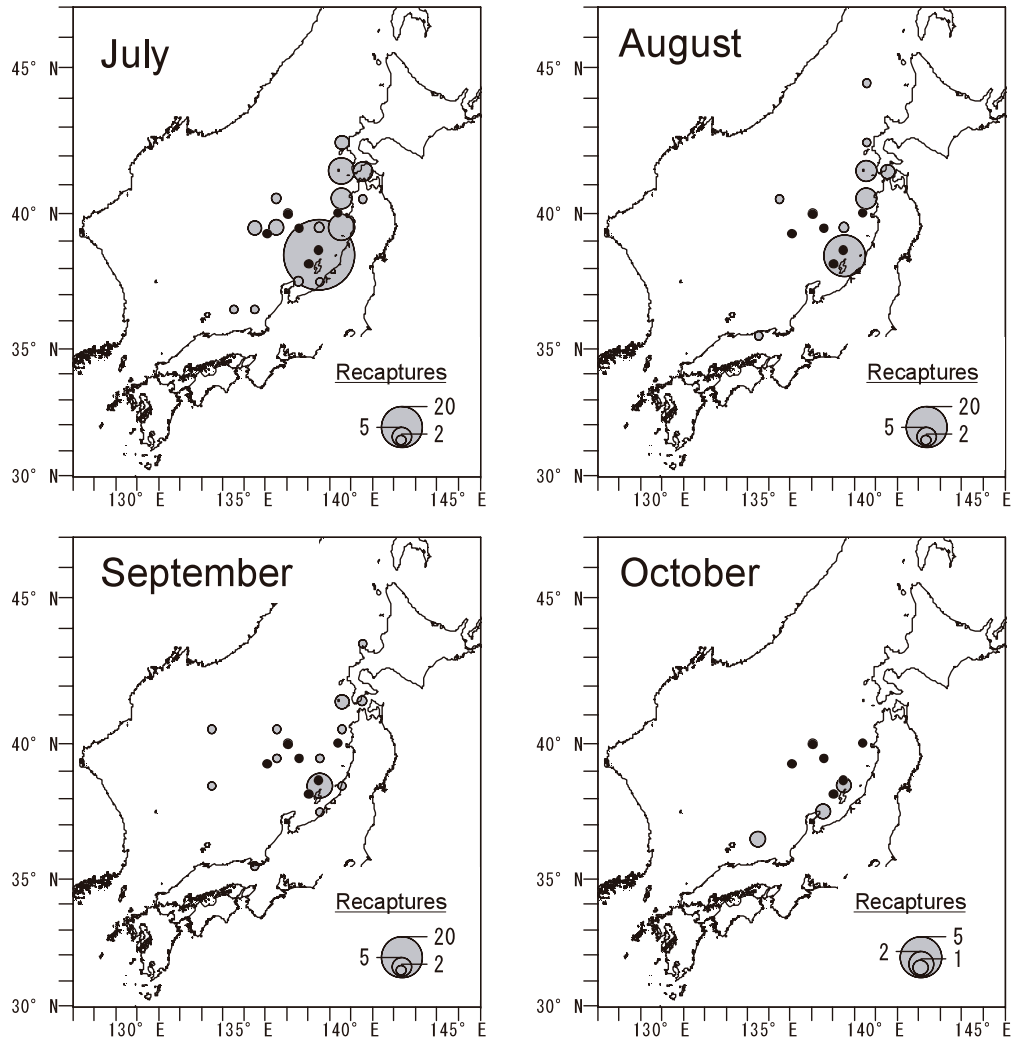


Fig. 16. Monthly changes in the recapture sites of tagged squids that were released in inshore area. The area of \bigcirc represents the number of recaptures by 1° longitude \times 1° latitude grids.

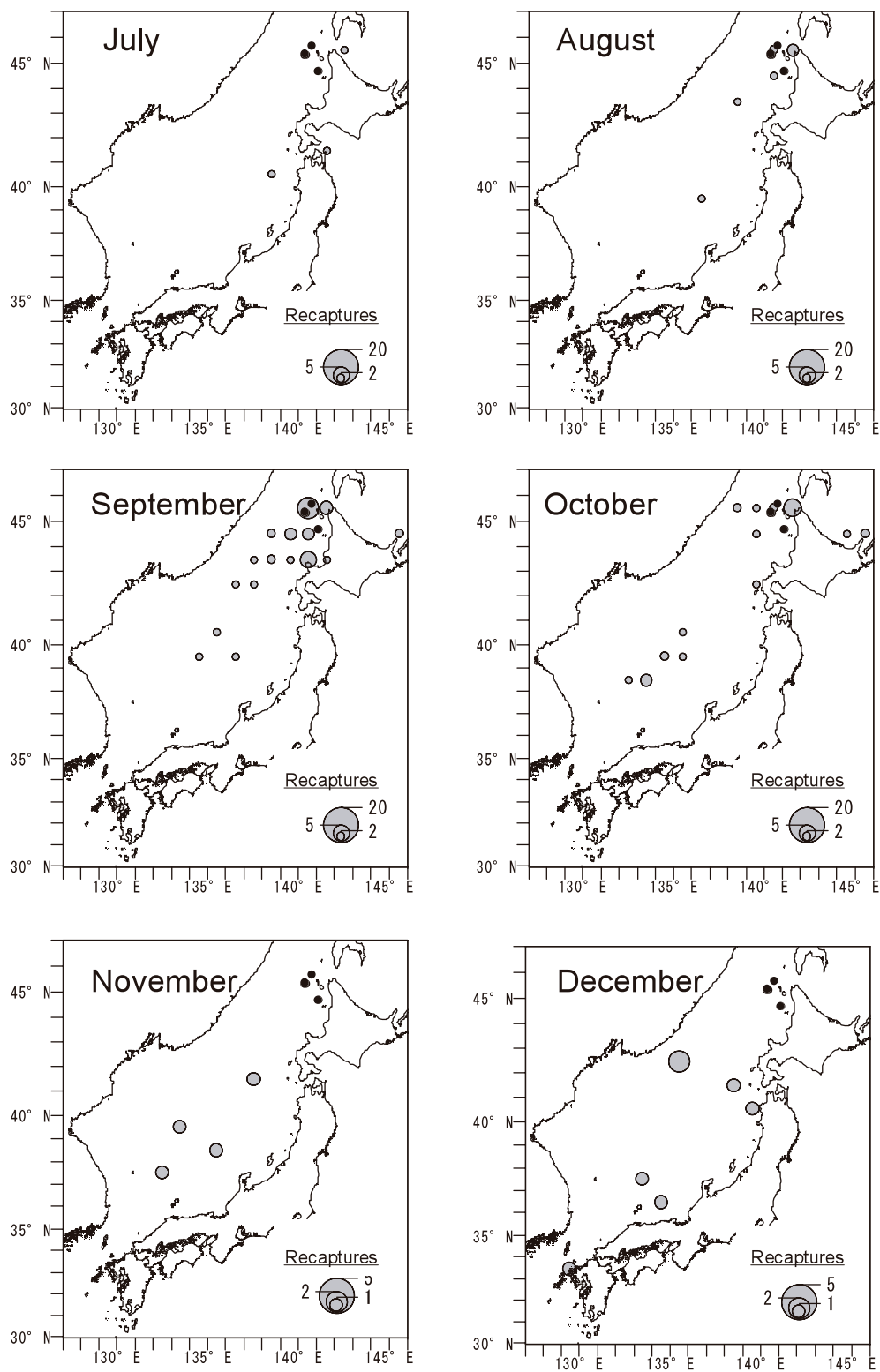


Fig. 17. Monthly changes in the recapture sites of tagged squids that were released in the northern Hokkaido area. The area of ○ represents the number of recaptures by 1° longitude × 1° latitude grids.

以南の対馬暖流域での再捕が多くなり、魚群の道北からの南下が示された。

以上のように、沿岸および沖合で放流したスルメイカは主に7~8月に再捕されたものの、海域間の群の交流はほとんど見られず、多くの個体は放流した海域付近で再捕された。9月以降は、両海域とも放流した海域から南西方向に移動する傾向があり、10月には産卵場と推定される山陰沿岸から東シナ海北部に移動する状況が見られた。沿岸および沖合で放流した個体の再捕数が減少する9月以降は、道北で放流した個体の再捕数が増加し、漁獲対象群が入れ替わった。しかし、再捕時期および海域ともに沿岸および沖合で放流した個体とは大きく異なり、海域間の群の交流は見られなかった。道北で放流した個体は、沖合で放流した個体に対馬海峡に南下した10月以降に大和堆周辺海域に南下し、この海域においては漁獲対象群の入れ替わりがあった。

考 察

日齢査定の結果、沖合と沿岸で採集したスルメイカはともに10~11月に生まれた個体が多かった。しかし、1日あたりの成長率が沿岸よりも沖合の方が約0.1 mm大きく、6~7月には外套背長が約2 cm異なった。一方、北緯43度以北の道北には、小型・未成熟で発生時期も沿岸および沖合で採集した個体よりも1ヶ月ほど遅い12月に生まれたスルメイカが分布していた。このように6~7月の日本海においては、海域によって異なる発生時期や成長のスルメイカが分布していた。また、沿岸では成熟した雌個体も見られ、夏季に産卵すると推定される個体が少ないながらも含まれていた。

日本海の特徴として、日本海のほぼ中央に亜寒帯前線が発達し、水深50 mおよび水深100 mの水温をもとに暖水域と冷水域に区分される(長沼, 2000)。試料を採集した海域間でも、表面水温は大きな違いはなかったが、水深50 mおよび100 mの水温が10℃以上異なっており、沿岸は暖水域、沖合は冷水域となっていた(Fig. 8)。また、日本海においてスルメイカの餌となる動物プランクトンの分布密度は海域によって異なり、冷水域は暖水域の2倍程度の分布密度と推定されている(森岡, 1985; Hirota and Hasegawa, 1999)。したがって、海域間で成長率に差が生じた要因として、分布海域における水温構造および餌生物の分布密度の違いが想定される。

餌の量は成長に直接影響することから、餌生物である動物プランクトンの量の違いが海域によって成

長が異なった要因の一つと考えられる。しかし、スルメイカは沖合では主に動物プランクトンを補食するが、沿岸では動物プランクトンばかりでなくキュウリエソをはじめとした小型魚類を主に補食する(沖山, 1965)。さらに太平洋側の親潮域では、日本海沖合よりも動物プランクトン量が多い(森岡, 1985)にもかかわらず、この海域のスルメイカが日本海のスルメイカよりも成長が良いという報告はない。したがって、成長が異なった要因として餌の分布密度以外の要因も推察される。

スルメイカは、多くのイカ類同様、日周鉛直移動を行う。イカ類の鉛直移動は餌生物である動物プランクトンやマイクロネクトンと一致し、照度を指標に鉛直移動を行うと考えられる(Nakamura, 1993; Bower and Miyahara, 2005; Gilly *et al.*, 2006)。すると、冷水域のスルメイカは、暖水域のスルメイカと比較して、日中は水温のより低い海域に分布することが予想される。その結果、冷水域では、日中は基礎代謝が抑制され、暖水域と比較して餌料を効率よく成長に利用することが可能(O'Dor and Wells, 1987)と考える。

これまで、日本海沿岸に分布するスルメイカは日本海沖合に分布するスルメイカよりも小型であること、および沿岸は大回遊群が分布する添田(1950)の報告をもとに、冬生まれ群として区分されてきた(新谷, 石井, 1972; Okutani, 1977; 土井, 川上, 1979)。しかし、平衡石を用いた日齢査定結果で示したように沿岸と沖合では成長が異なっており、沿岸と沖合における外套背長の違いから秋生まれ、冬生まれと区分するのは問題がある。また、TSIと外套背長の関係、およびTSIとふ化後の日数の関係から判断されるように、成熟度は外套背長よりも日齢と関係しており、発生時期を推定するには新谷, 石井(1972)も試みているように外套背長に加え、成熟度も考慮して判断する方が有効である。なお、TSIを基準にすると、本研究で検討した沖合と沿岸の群は、同じ発生時期であるが、道北の群は、異なる発生時期の群に区分することが可能と考える。

標識放流調査の結果では、沿岸および沖合で放流した個体は7~8月は放流した海域付近で再捕され、海域間の移動および交流はほとんどなかった。しかし、産卵回遊に転じる9月以降は、沿岸で放流した個体も亜寒帯前線付近に移動する個体も多く見られるとともに、10月には西日本沿岸に移動しており、再生産海域は大きく重複することが示唆された。したがって、沿岸と沖合に分布する群では、夏季には分布域の交流が見られず、漁場的には異なる群であると判断されるものの、産卵場、および産卵時期が重複しており、再

生産の視点では同じ群として扱うのが妥当と判断される。

一方、道北で放流した個体は、沿岸および沖合で放流した個体とは異なり、7～8月はほとんど再捕報告が得られず漁獲対象になっていなかった。その代わりに、沿岸および沖合の群が産卵回遊に転じ、これらの群が夏季の主漁場から移動する9月以降に漁獲対象となり、9～10月には道北海域、11月以降に日本海沖合域で漁獲対象となった。このことは、道北に分布する群は沿岸および沖合に分布する群とはほとんど交流がなく、分布回遊、漁場、および再生産の時的的にも異なる群として捉えることができる。

本研究における日齢査定結果および標識放流調査結果を合わせて考察すると、日本海沿岸と沖合には10～11月に生まれた群が分布しているが、海域によって異なる成長を示す。しかし、産卵時期、海域は重複しており、再生産的には同じ群と判断される。一方、道北海域には沿岸、沖合に分布する群よりも発生時期が1ヶ月遅い、主に12月に生まれた群が分布し、分布・回遊、漁期・漁場および再生産的にも異なる群と判断することができる。なお、Katugin and Mokrin (2001)は沖合群（秋生まれ群）と日本海に分布するそれ以外の群では遺伝的な分化が少しながらも見られることを指摘しており、各海域に分布する群の再生産時期および海域の隔離性を更に検討する必要がある。

以上のように、日本海においてスルメイカは発生時期や成長が異なる複数の群が分布しており、これまで想定されてきた季節別発生群よりも細かい発生時期単位や分布海域で区分することが可能である。一方、太平洋側には冬生まれ群（新谷, 1967）または冬季発生系群（森, 2006）と呼ばれる1～3月に生まれたスルメイカが分布し、10月以降、津軽海峡および宗谷海峡を経て日本海に來遊する（新谷, 1967；中村, 森, 1998；森, 中村, 2001）。本研究で扱った12月生まれのスルメイカも9～10月にオホーツク海および羅臼沿岸で一部が再捕されており、これらの太平洋からの移入群と交流が見られる。しかし、これまでの標識放流調査結果では、太平洋からの移入群のほとんどは、道北の12月生まれ群が南下した11月以降に日本海に移入して南下しており（中村, 森, 1998；森, 中村, 2001）、本章で扱った道北の12月生まれ群とは分布・回遊に大きな重複はない。つまり、日本海では、10～11月生まれの群、12月生まれの群、1～3月に生まれた群が、それぞれ、夏季から冬季に入れ替わりながら南下し、漁獲対象になると想定される。

一般に、資源評価および資源管理は種全体ではなく、系群（Stock）を単位として行われる（Cushing,

1981）。系群は産卵場が地理的に隔離されており、生物学的（たとえば遺伝学）に異なる特性をもとに区分されることが望ましい（Cushing, 1981）。しかし、生物学的に明瞭に区分される場合ばかりでなく、想定される資源評価・管理方策によって決められる場合（Hilborn and Walters 1992）や、資源量や調査情報の変化によって分離・統合される場合もある（Hammer and Zimmermann, 2005）。

現在、資源評価調査における系群別の漁獲量の区分方法では、日本海の本州沿岸および沖合域で9月まで漁獲されるスルメイカを秋季発生系群、10月以降に漁獲されるスルメイカを冬季発生系群、北海道沿岸で漁獲されるスルメイカは、9月（9月は道比率で混合）を境にそれぞれの系群に区分している（木所ほか, 2003；森, 2006）。本研究で推定した日齢査定と標識放流調査による漁獲状況を用いて、これらの系群区分を整理すると、本研究で対象とした10～11月生まれのスルメイカおよび12月生まれのスルメイカはともに秋季発生系群に区分される。つまり、夏季の日本海に分布していたスルメイカは基本的に秋季発生系群として区分される。一方、10月以降に北海周辺海域および11月以降に日本海で漁獲されるスルメイカは冬季発生系群として区分される（木所ほか, 2003；森, 2006）が、これらは秋季以降に太平洋から移入する冬生まれ群である。

資源構造を細区分し、それらの変動特性を検討することは、資源構造と資源変動機構の関係を検討する際には有用であり、資源管理にも有効である場合もある。しかし、各群における評価精度の低下や漁業管理が困難になることも同時に指摘されており（Hilborn and Walters, 1993）、系群区分には資源管理方策的な視点での判断も必要となる。現在、スルメイカ資源評価は2系群に区分して行っているが、現行の2系群によって資源評価単位を検討するのであれば、現行の秋季発生系群と冬季発生系群による区分は、再生産時期が異なることに加え、漁期・漁場も大きく異なる群で区分されており、漁業管理への運用上でもかなり有用な区分方法と判断される。

ただし、現在のスルメイカのTACは、漁業管理の実効性からスルメイカ全体および各漁業種類別に設定されており、資源評価単位と整合していない。今後、資源評価区分に合わせた管理体制の整備が望まれる。また、資源量および漁獲量が少ないことから、現在の日本の資源評価単位では対象とされていないが、春～夏に生まれたスルメイカも沿岸域を中心に分布している（新谷, 1967；Okutani, 1983）。これらは、日本海では10～11月生まれ群が沿岸で漁獲対象となる5月

下旬以前の、3～5月に西日本沿岸を中心に漁獲対象となる。

第2章 分布回遊および資源構造の変化

スルメイカの資源変動機構として、海洋環境の変化によってスルメイカの主産卵場が拡大、縮小し、幼稚仔の輸送環境および生残率の正否に伴って資源量が変化することが仮説化されている(桜井, 1998; 桜井ら, 2005)。特に冬季の東シナ海では、CRSによる冬季の水温低下に伴って再生産可能な海域が縮小したと推定され、結果として太平洋側への幼生の輸送が大きく減少し、太平洋側に分布するスルメイカ冬季発生系群の資源が崩壊した可能性が指摘されている(Sakurai *et al.*, 2000)。日本海でもCRSを境として秋季のスルメイカの幼生が分布する海域の拡大と縮小が観測されている(Goto, 2002)が、冬季の東シナ海と異なり、水温変化から産卵場の拡大、縮小を説明するには至っていない。

スルメイカの資源変動に与えるCRSの影響に関する研究は、これまで主に産卵生態や初期生活史に注目して行われ、資源変動機構が仮説化されてきた(Sakurai *et al.*, 2000; Goto, 2002; 山本, 2002; 森, 2006)。しかし、漁獲加入後の分布状況や資源構造、および漁業への影響に関する研究は少ない。太平洋側では1970年代以降に資源量が大きく減少し、それとともに主発生時期や分布範囲が変化したことが推察されている(Nakata, 1993)ものの、日本海では分布域や主発生時期の変化は、ほとんど明らかでない。

一方、日本周辺海域に分布するマイワシでは、資源量の増大とともに分布域が大きく拡大したことが明らかとなっている(和田, 1988; 黒田, 1991)。分布域の拡大には、産卵場の沖合域への拡大とともに、沖合域へ稚仔が輸送されることが影響していると推察されている(Watanabe *et al.*, 1996)。また、このような沖合域への分布拡大に加え、CRSによる海洋環境の変化が稚仔魚の生残率を変化させ、資源増大および魚種交代を引き起こすと報告されている(Takasuka *et al.*, 2007)。このように、CRSによる産卵場形成の変化と、分布回遊および資源構造の変化を関連させて検討することは、CRSによる資源変動機構を明らかにする上での重要な要素になっている。

スルメイカでは、CRSとともに主産卵場が拡大、縮小することが明らかになっているが、スルメイカの分布回遊や資源構造がCRSに対し、どのような応答を示すのか明らかでない。したがって、資源変動と深く関係するとされる産卵場の変化と、分布回遊および

資源構造の変化との関連は明らかでない。そのため、CRSによる分布回遊および資源構造の変化を明らかにし、産卵期および産卵場の変化との関連を通じて、スルメイカの資源変動機構を明らかにすることが重要な課題となっている。加えて、このような生態的特性の変化をCRSが起きた指標に用いることで、スルメイカの資源動向を早期に予測し、資源管理および資源利用方策に応用することが可能になることと考える。

本章では、スルメイカの分布回遊および資源構造がCRSに対してどのように応答し、変化するかを明らかにし、これらの変化と産卵場および産卵期の変化との関連を明らかにすることを目的とした。そのため、まず、2章で区分した発生時期、成長、分布回遊が異なる各群の分布域および資源量が88/89CRSを境にどのように変化するかを調べた。さらに、88/89CRS前後の産卵回遊経路の変化を調べることによって、日本海における秋季の産卵場の変化と分布回遊の変化との関連を検討した。

試料と方法

1. 分布および資源構造の変化

調査資料 日本海では、スルメイカの分布状況および資源状況を把握する目的で主に6～9月に試験研究機関の調査船および水産高校の実習船によって、スルメイカの試験操業が日本海で行われてきた。そこで、スルメイカの試験操業による調査結果を用いて、スルメイカの分布状況および1980～1990年代における変化を調べた。

1995年以降は、日本海における資源状況を把握する目的で、6月下旬から7月上旬に日本海区水産研究所および日本海側道県の試験研究機関の調査船(150～450トン)によって漁場一斉調査が行われている(木所ら, 2003)。この調査はロシア水域を含む北緯35度～北緯45度および東経131度～東経141度の海域(韓国および北朝鮮海域を除く)を対象に実施されている。したがって、1995年以降は漁場一斉調査結果を用いて検討した。この調査では、おおそ緯度経度1度間隔毎に各年計約60の調査点が設定されて実施され、原則として、夜間8時間実施し、各調査点における採集個体数、操業時間、用いた釣機台数、CPUE(釣機1台1時間あたりの採集個体数)、および漁獲物の外套背長組成(1 cm階級)が調べられている。

1994年以前は、6月および9月に漁場一斉調査が実施されてきた(Kasahara, 1978)が、1995年以降の漁場一斉調査との調査時期および調査点の継続性はない(木所ら, 2003)。そこで、1994年以前については、6

月の漁場一斉調査をはじめとした6月1日～7月31日に試験研究機関の調査操業および水産高校の操業実習で実施された操業結果を資料に用いた。ただし、使用したいか釣り機の台数が4台以上、操業時間が3時間以上の調査結果のみを対象とした。また、1994年以前の資料については、調査の目的によっては調査位置の重複が多い場合もあった（多獲された地点付近で継続して操業する場合があった）ことから、対象期間中の操業結果（CPUEおよび外套背長組成）を緯度経度1度毎に集計し、その平均値を各地点の分布状況の指標値に用いた。

外套背長組成の補正 スルメイカの成長速度は早いのにに対し、資料に用いた調査期間は2ヶ月と長く、調査月日（ X ）と平均外套背長（ Y ）の間には有意な相関関係（ $r^2=0.303$, $p<0.001$ ）があった（Fig. 18）。

$$Y = 0.0719X + 7.81 \quad (1)$$

式1では1日あたり0.7 mmの外套背長の増加であり、調査日時による外套背長組成への影響が無視できないと判断し、調査結果で得られた外套背長組成を、式1を用いて調査月日によって補正を行った。

外套背長の補正は、6月30日を起点として、前後6日間（6/24～7/6）は式1から推定される平均外套背長への影響が0.5 cm未満のため、調査データは補正を行わなかった。しかし、平均外套背長の調査月日による影響が0.5～1.4 cmとなる6/9～6/23および7/6

～7/21の外套背長組成には、それぞれ+1 cmと-1 cm、1.5 cm以上の影響となる調査日時6/8以前および7/22以降の外套背長組成にはそれぞれ+2 cmと-2 cmの補正を行った。

分布海域の変化 日本海の試験操業で得られた緯度経度1度毎のCPUEの集計値を、各海域におけるスルメイカの分布密度の指標として用いた。また、外套背長組成から、分布するスルメイカの外套背長組成を、第2章で区分した各群の調査時期における平均外套背長の違いをもとに主に2 cm間隔で、外套背長17 cm未満、17 cm以上19 cm未満、19 cm以上21 cm未満、21 cm以上23 cm未満、23 cm以上の計5外套背長範囲に区分するとともに、各外套背長範囲のCPUEを、（調査点のCPUE × 各外套背長範囲比率）として求め、各外套背長範囲のスルメイカの分布密度の指標とした。資料とした1979～2007年の外套背長範囲別の調査船CPUEの分布はAppendix 1の通りである（1979～1994年は緯度経度1度の集計値、1995年以降は各調査点における外套背長範囲別のCPUEで示した）。

次に、88/89CRS以前（1979～1988年：以下、寒冷期とする）と以後（1989～2007年：以下、温暖期とする）の分布状況として、それぞれの期間における平均分布図を外套背長範囲毎に作成した。平均分布図は、緯度経度1度毎に各年のCPUEの平均値および各外套背長範囲のCPUEを計算して作成した。ただし、平均分布図の作成は、対象期間において各海域内の調査結果が30%以上の年で得られた海域（寒冷期では

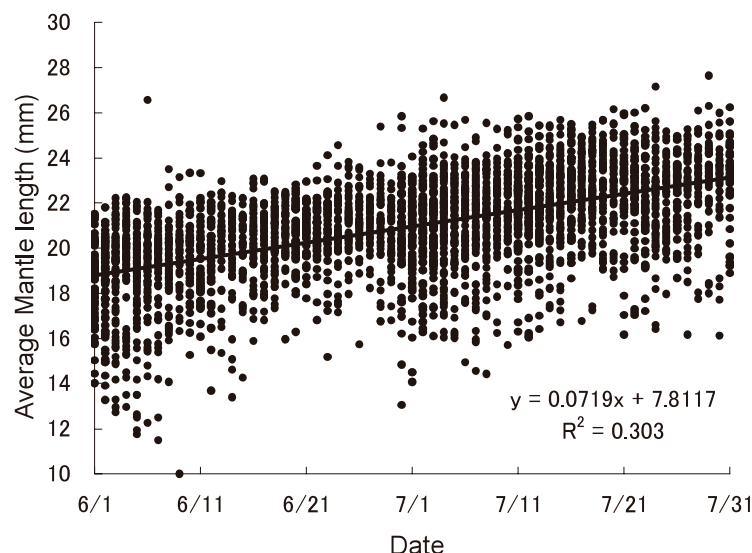


Fig. 18. Relationship between the date of jigging experiment and average mantle length caught. In this figure, the black line represents the linear regression line.

3年以上、温暖期では6年以上のデータが得られた海域)のみを扱った (Table 4)。

さらに、88/89CRSを境とした分布状況の変化として、温暖期と寒冷期のCPUEの差(温暖期のCPUE-寒冷期のCPUE)を緯度経度1度毎に各外套背長範囲について計算し、寒冷期から温暖期に変化した際の分布密度の変化を調べた。

資源量指数の変化 全調査点のCPUEの平均値を、各年の資源量指数として計算し、資源量の相対的な経年変化を求めた。ただし、1995年以降は、各年に実施された全調査点のCPUEの平均値を用いたが、1994年以前は、緯度経度1度毎の集計値を1調査点として各年の平均値を算出し、資源量指数を算出した。さらに、各外套背長階級別に(資源量指数×外套背長範囲比率)として、外套背長範囲毎に資源量指数を算出し、外套背長範囲別の資源量指数の経年変化も調べた。外套背長範囲は、主に2cm間隔で、外套背長17cm未満、17cm以上19cm未満、19cm以上21cm未満、21cm以上23cm未満、23cm以上の計5外套背長範囲階級に区分した。

また、資源量指数の経年変化に加え、88/89CRSによる資源水準の変化として、寒冷期(1979~1988年)と温暖期(1989~2007年)における各外套背長範囲の資源量指数の平均値の差をt-testによって検定して調べた。

資源構造の変化として、各外套背長範囲の資源量指数が占める資源量指数全体における割合を求め、各外套背長階級範囲が占める割合の経年変化を調べた。また、寒冷期と温暖期における資源量指数で重み付けした階級幅1cmの平均外套背長組成を算出し、寒冷期と温暖期における変化を調べた。さらに、88/89CRSによる外套背長別の変化量の指標として、温暖期と寒冷期の資源量指数で重み付けした各外套背長階級の偏差(温暖期の資源量指数-寒冷期の資源量指数)、および増加率((温暖期の資源量指数-寒冷期の資源量指数)/寒冷期の資源量指数)を算出し、外套背長階級による増加量および増加率の違いを調べた。

2. 回遊経路の変化

標識放流調査 日本海沖合域におけるスルメイカの回遊経路のCRSによる変化を明らかにするため、88/89CRS前後に行われた標識放流調査結果を用いて検討した。資料には、1984年および1987~1991年に日本海沖合域(北緯39度以北、北緯43°以南の海域)で調査船但州丸(兵庫県香住高校所属499トン)によって実施された標識放流調査の再捕結果を用いた。放流地点および放流数は、Table 5およびFig. 19の通りで

ある。各調査点では200~3,300個体、各年計4,058(1984年)~12,458個体(1987年)のスルメイカを放流した(Table 6)。標識放流調査は、1984年および1987年は7月下旬から8月上旬に実施されたが、1988~1991年は8月下旬から9月上旬に実施した。

標識放流は、自動イカ釣り機で採集した個体を用いた。標識にはアンカー型タグを用い、採集後速やかに肉ヒレ部に取り付けて放流した。各放流調査点で採集したスルメイカの平均外套背長、成熟率はTable 6の通りである。外套背長の各年の平均値は、1984年は235mm前後であったが、その他の年はおおよそ240~250mmまたは240~260mmであった。雄の成熟率は50%以上の調査点が多く、成熟個体の割合が高かった。雌の成熟率は50%前後の調査点も見られたが、多くの調査点で20%以下であった。

再捕結果のとりまとめ 得られた再捕報告は、再捕位置を緯度経度1度ごとに旬別に集計した。ただし、10月以降は一括して取り扱った。スルメイカの分布回遊、漁場形成(長沼, 1967; Kasahara, 1978)、および産卵場形成(Sakurai *et al.*, 2000)は水深50mの水温分布と深く関係していることが報告されている。そこで、再捕位置を水深50mの水温分布図と合わせて表示して回遊と海洋環境の関係を調べた。基本的に水深50mの水温5~10°Cの海域が亜寒帯前線となっており、5°C以下の海域が冷水域、10°C以上の海域は暖水域に区分される(Kasahara, 1978)。水温分布図には日本海区水産研究所が作成した日本海漁場海況速報を用いた。この水温分布図は、月単位の水温分布図として、前月下旬から当月中旬までの調査船による観測結果をもとに作成されている。現在はデータベース化され、インターネットを經由して資料の入手が可能である(<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/shigen/suion/Page.htm>)。再捕位置と水温分布の関係は、前月下旬~当月中旬の再捕結果と各月の水温分布図を対応させて作図し、関係を調べた。なお、旬別の再捕報告と水温分布図の関係はGISソフトウェア(マリンエクスプローラー: ESL社, <http://www.esl.co.jp/>)を用いて作図した。

日本海に分布するスルメイカ(秋季発生系群)は、一般に夏季以降、産卵のために南方または南西方向に移動する。そこで、再捕位置の平均緯度の変化をスルメイカの産卵回遊の指標として用いた。再捕位置の平均緯度は、各年の旬毎に計算し、各年に放流したスルメイカの産卵場への移動状況を調べた。また、88/89CRSによる産卵移動状況の変化を調べる目的で、1984~1988年の旬別の再捕個体の平均緯度と、1989~1991年の再捕個体の平均緯度の差を検定

Table 5. Dates and the locations of stations where the tagged squid were released in 1984 and 1987-1991

Date	Site of station		Number of releases
	Latitude N ^o	Longitude E ^o	
29-Jul-84	40°48	134°07	1698
30-Jul-84	41°59	132°00	1495
31-Jul-84	42°00	135°00	865
1984 total			4058
25-Jul-87	40°49	134°08	1000
26-Jul-87	41°27	134°01	200
27-Jul-87	41°28	136°14	1000
29-Jul-87	42°30	139°01	400
30-Jul-87	42°30	136°45	3300
31-Jul-87	42°28	134°29	2500
1987 total			12458
19-Aug-88	39°35	136°17	298
20-Aug-88	40°36	133°47	1979
21-Aug-88	41°41	133°22	700
24-Aug-88	42°30	136°45	2000
1988 total			4977
21-Aug-89	40°20	133°30	2780
22-Aug-89	41°30	132°00	2470
23-Aug-89	41°30	134°40	2480
24-Aug-89	41°30	137°10	990
26-Aug-89	42°29	139°08	990
27-Aug-89	42°30	136°50	995
1989 total			10705
20-Aug-90	40°19	133°31	1190
21-Aug-90	41°30	131°59	1990
24-Aug-90	41°30	134°39	1760
28-Aug-90	42°30	133°59	500
1990 total			5440
29-Aug-91	42°30	139°10	1697
02-Sep-91	41°30	137°10	1995
03-Sep-91	42°30	136°50	1100
04-Sep-91	42°30	134°00	1992
05-Sep-91	41°30	134°40	1991
1991 total			8775

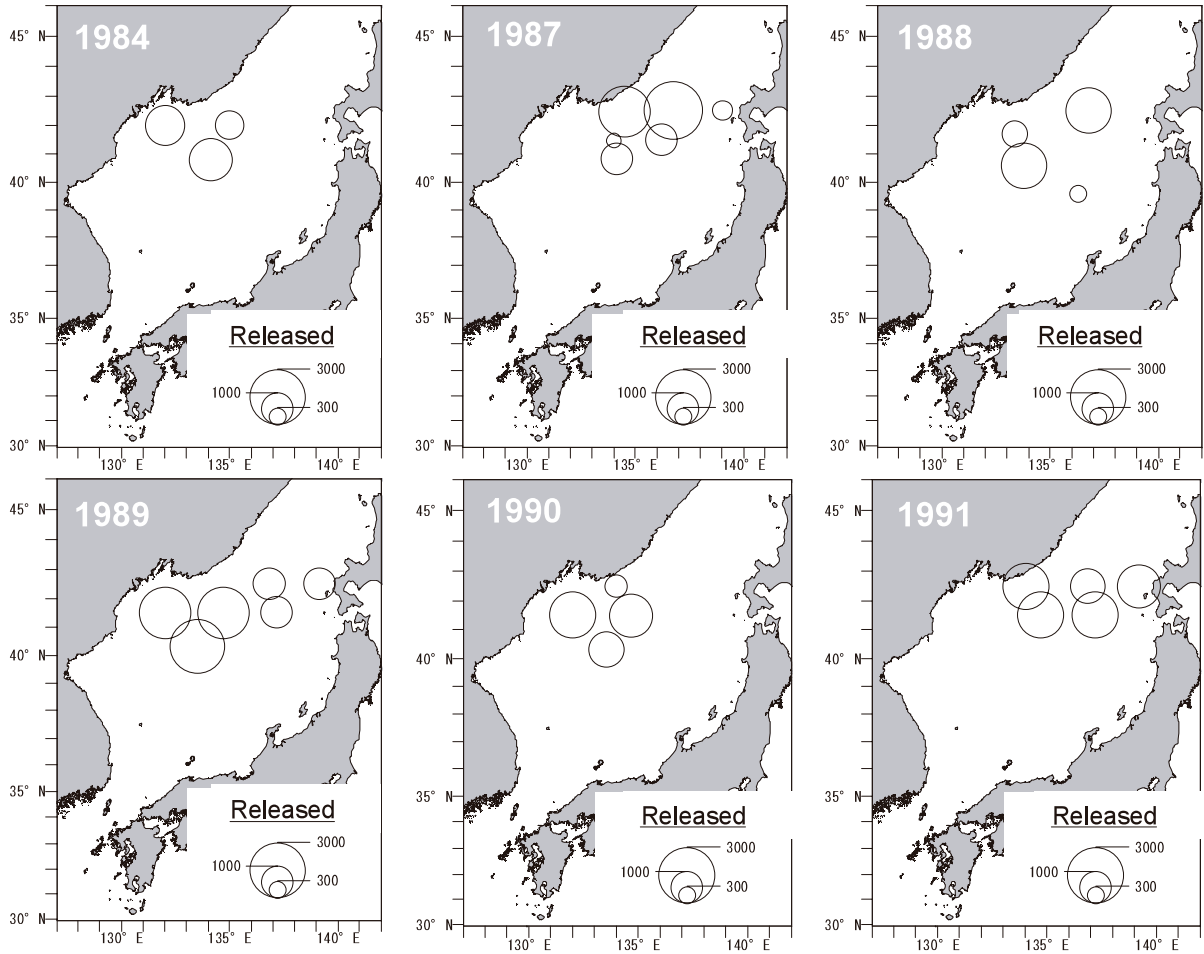


Fig. 19. Locations of stations where tagged squids were released in 1984, and from 1987 to 1991. In these figures, the area of circles represents the number of tagged squids released.

(*t*-test) し、88/89CRS による産卵回遊時期の変化を調べた。

結 果

1. 分布・資源構造の変化

88/89CRS 以前の平均分布 88/89CRS 以前の1979～1988年（寒冷期）の平均分布図を Fig. 20に示す。スルメイカは北緯35度～44度の範囲で採集され、日本海の広い海域に分布していた。なお、北緯45度以北は、データが少なかった（調査を実施した年が30%未満）ため、平均値を図示していないが、88/89CRS 以前のこの海域にもスルメイカは分布していた（補足資料）。分布の傾向として、沿海州南部沖の CPUE は20個体前後と他の海域よりも高く、この海域が寒冷期の6～7月におけるスルメイカの分布の中心であった。しかし、本州沿岸では CPUE が低く、特に東北沿岸および北海道沿岸では CPUE が5個体前後であり、分布密度が低かった。

外套背長17 cm 未満のスルメイカ (Fig. 20b) は、能登半島西および北海道沿岸で CPUE が5前後であり、この付近の海域で最も多かった。しかし、全体的に分布密度は低く、沿海州南部沖で特に低かった。

外套背長17 cm 以上18 cm 未満のスルメイカ (Fig. 20c) は、ほぼ全域で分布が見られ、能登半島西および北海道沿岸で多い傾向があった。しかし、どの海域でも分布密度は低く、特に外套背長17 cm 未満と同様に沿海州南部沖で低かった。

外套背長19 cm 以上21 cm 未満のスルメイカ (Fig. 20d) は、日本海のほぼ全域に広く分布していた。特に、沿海州南部沖および山陰沿岸を除く海域（主に北緯38度～北緯40度の海域）ではこの外套背長範囲のスルメイカの占める割合が高かった。外套背長21 cm 以上23 cm 未満のスルメイカ (Fig. 20e) も外套背長19 cm 以上21 cm 未満のスルメイカと同様に日本海のほぼ全域に広く分布していた。外套背長19 cm 以上21 cm 未満のスルメイカと比較して沿海州南部沖での分布密度が高く、この海域でもこの外套背長階級のスルメイカの占める割合が高くなっていた。しかし、山陰沿岸では逆に分布密度が低かった。

外套背長23 cm 以上のスルメイカ (Fig. 20f) は、大和堆周辺海域から沿海州南部沖（主に亜寒帯冷水域）で CPUE が高く、この海域で分布密度が高かった。しかし、北緯40度以南の海域および北緯43度以北の海域では CPUE が低く、この海域の分布密度は低かった。

88/89CRS 以降の平均分布 88/89CRS 以降の1989

～2007年（温暖期）の平均分布図を、Fig. 21に示す。寒冷期同様、スルメイカは北緯35度～45度の日本海のほぼ全域に広く分布していた。全体的に寒冷期と比較して分布密度が高くなっていた。分布の傾向として、寒冷期同様、沿海州南部沖で CPUE が高かった。ただし、寒冷期よりも西方の東経133度の海域付近が中心となっており、北緯42度以北の沿海州沖では分布密度がやや低い傾向が見られた。また、寒冷期では示されていないが、北緯44度以北の道北沿岸でも分布密度が高かった。

外套背長17 cm 未満のスルメイカ (Fig. 21b) は、道北沿岸で CPUE が20個体以上の海域も見られ、分布密度が高かった。また、西日本沿岸でも CPUE が5～10個体程度の分布が見られた。しかし、その他の海域ではほとんど分布していなかった。

外套背長17 cm 以上19 cm 未満のスルメイカ (Fig. 21c) も外套背長17 cm 未満のスルメイカ同様に道北沿岸で CPUE が20個体以上であり、分布密度が高かった。また、佐渡周辺海域でも外套背長17 cm 以上19 cm 未満のスルメイカの占める割合は高く、CPUE が5～10個体程度であった。

外套背長19 cm 以上21 cm 未満のスルメイカ (Fig. 21d) は、日本海全体に広く分布していた。特に、北緯39度以南の対馬暖流域では CPUE が10個体前後であり、比較的多く分布していた。ただし、北緯43度以北の海域では、外套背長19 cm 以上21 cm 未満のスルメイカの占める割合は低かった。

外套背長21 cm 以上23 cm 未満のスルメイカ (Fig. 21e) も、日本海中央部を中心に広く分布していた。特に、大和堆周辺海域から東経133付近の沿海州南部沖で分布密度が高かった。しかし、北緯43度以北の北海道沿岸では CPUE が低く、ほとんど分布していなかった。外套背長23 cm 以上のスルメイカ (Fig. 21f) は、21 cm 以上23 cm 未満のスルメイカ同様、大和堆周辺海域から東経133付近の沿海州南部沖で分布密度が高かった。特に、北緯40度、東経133度の沿海州南部沖で高かった。しかし、その他の海域では分布密度が低く、特に本州沿岸及び北海道沿岸にはほとんど分布していなかった。

基本的に、寒冷期も温暖期も外套背長によって主な分布海域が異なっていた。外套背長17 cm 未満および17 cm 以上19 cm 未満の小型のスルメイカは、本州沿岸および道北沿岸に分布していた。外套背長19 cm 以上21 cm 未満のスルメイカは、沿海州南部を除く日本海のほぼ全域で見られ、21 cm 以上23 cm 未満および23 cm 以上のスルメイカは日本海の中央部から沿海州南部沖の海域で多く見られた。

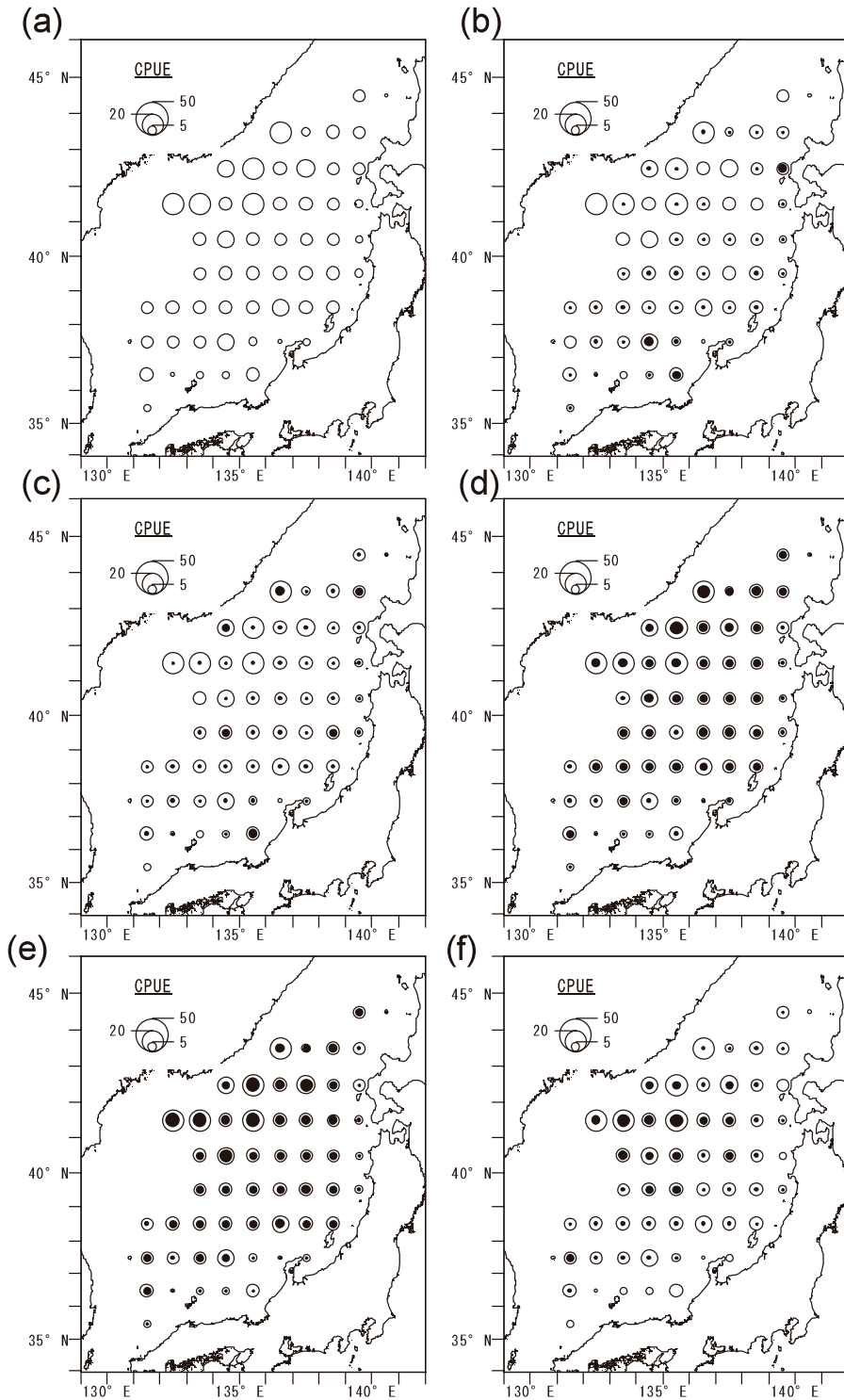


Fig. 20. Distribution map of the average CPUE obtained by the experimental jigging survey conducted in June and July 1979–1988 (before 88/89CRS). CPUE (number of individuals caught by a jigging machine in an hour) were averaged by 1° longitude \times 1° latitude grids. In these figures, open circles represent CPUE for the total mantle length class, and closed circles represent CPUE of each mantle length class. (a) CPUE for all mantle length classes, (b) CPUE for <17 cm mantle length class, (c) CPUE for 17 cm–19 cm mantle length class, (d) CPUE for 19 cm–21 cm mantle length class, (e) CPUE for 21 cm–23 cm mantle length class, (f) CPUE for above 23 cm mantle length class.

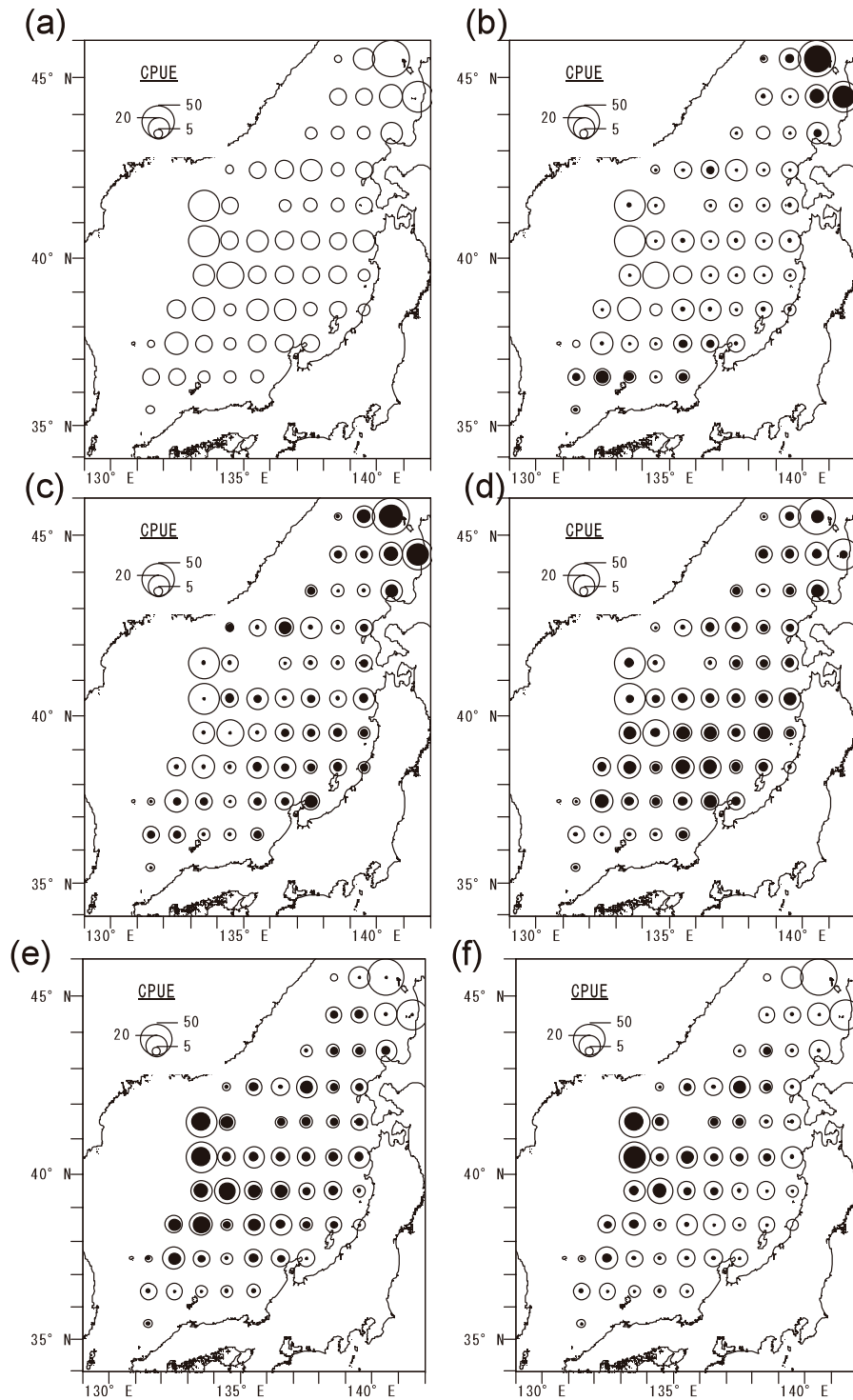


Fig. 21. Distribution map of the average CPUE obtained by the experimental jigging survey conducted in June and July 1989–2007 (after 88/89CRS). CPUE (number of individuals caught by a jigging machine in an hour) were averaged by 1° longitude \times 1° latitude grids. In these figures, open circles represent CPUE for total mantle length classes, and closed circles represent CPUE of each mantle length class. (a) CPUE for all mantle length classes, (b) CPUE for <17 cm mantle length class, (c) CPUE for 17 cm–19 cm mantle length class, (d) CPUE for 19 cm–21 cm mantle length class, (e) CPUE for 21 cm–23 cm mantle length class, (f) CPUE for above 23 cm mantle length class.

分布海域の変化 温暖期と寒冷期の分布密度の変化を、各外套背長範囲について緯度経度1度毎にFig. 22に示す。各海域におけるスルメイカの分布密度の変化を見ると、多くの海域で正の値を示しており、温暖期は全体的にスルメイカの分布密度が増加していた。寒冷期から温暖期にかけての増加量は海域によって異なっており、亜寒帯前線以南にあたる北緯40度以南の海域および北海道周辺海域では増加量が多く、CPUEで20（個体/台数/時間）程度の増加が見られた。一方、東経134度以西を除く沿海州南部沖の亜寒帯冷水域では、増加量がCPUEで5（個体/台数/時間）程度に留まっていた。さらに、北緯41度~43度、東経135度~138度の沿海州沖では増加が見られないか、海域によっては減少していた。

寒冷期~温暖期にかけての分布海域の変化を外套背長階級範囲別に見ると、17 cm未満のスルメイカ（Fig. 22b）は山陰および道北海域で増加が見られ、17 cm以上19 cm未満のスルメイカ（Fig. 22c）は、道北海域を中心に本州沿岸で増加がみられた。寒冷期の調査点が少なかったため、北緯45度付近の変化は示していないが、北緯44度付近の変化から判断すると、北緯45度付近でも温暖期には外套背長17 cm未満および17 cm以上19 cm未満のスルメイカはかなり増加したと予想される。

外套背長19 cm以上21 cm以下のスルメイカ（Fig. 22d）は、津軽海峡西および北緯40度以南の対馬暖流域で増加が見られた。外套背長21 cm以上23 cm未満（Fig. 22e）のスルメイカは東経135度以西の日本海中央部、23 cm以上のスルメイカ（Fig. 22f）は、温暖期で多く見られた北緯40度、東経134度の海域で顕著に増加が見られた。

資源量指数の変化 調査船調査結果による資源量指数の経年変化を、Fig. 23に示す。資源量指数は、1980年代前半は減少傾向にあり、1980年の17.77個体から1986年は2.76個体に減少した。1987年以降は増加傾向に転じ、1998年に一時的に大きく減少したものの、1990年代は概ね10~20個体で推移した。2000年以降は20個体以上に増加し、2002年には25.04に達した。しかし、2003年以降は減少傾向となり、2007年は11.18個体となった。88/89CRS以前（寒冷期：1979~1988年）と以降（温暖期：1989~2007年）の資源量指数の平均値の差を検定すると、寒冷期の平均値（8.01個体）と温暖期の平均値（14.81個体）の間には有意な差が見られ（ $p < 0.001$ ）、寒冷期と温暖期における資源量水準の違いが示された。

各年の外套背長範囲別の資源量指数の経年変化を資源量指数と各外套背長階級範囲の占める組成比より計

算した（Fig. 24）。外套背長範囲別の変化傾向として、外套背長17 cm未満では、1981年（3.46個体）を除き、ほとんどが1個体未満であり、1980年代は低い値で推移した。1990年代以降は増加し、1997年および1998年の一時的な減少を除いて1.5~3個体の水準であった。

外套背長17 cm以上19 cm未満では1980年代は減少傾向にあり、1980年の3.11個体から1989年には0.20個体に減少した。1990年以降は増加し、1997年および1998年に減少したのを除くと、2000年前後には5~7個体の水準であった。外套背長19 cm以上21 cm未満も同様に、1980年代は減少傾向であり、1980年の4.24個体から1989年には0.69個体に減少した。1990年以降は増加に転じ、1998年に一時的な現象が見られるものの、1990年代以降は概ね3~7個体の水準で推移した。

外套背長階級21 cm以上23 cm未満では、1980~1986年にかけて資源量指数が減少し、1986年には0.91個体となった。1987年以降は増加に転じ、1996年、1998年、2007年には単年の減少が見られるが、概ね3~6個体で推移した。外套背長階級23 cm以上の資源量指数も、1980年から1986年にかけて資源量指数が減少し、1986年には0.30個体となった。1987年以降は増加し、1989年には3.75個体となった。その後は、1997年に一時的に大きく増加が見られるものの、1990年代以降に他の外套背長階級の資源量指数ほど顕著な増加は見られず、資源量指数も1~3個体の水準で推移した。

各外套背長範囲におけるCRS以前（寒冷期：1979~1988年）とCRS以降（温暖期：1989~2007年）の資源量指数の平均値を検定すると、17 cm未満では寒冷期の平均値（0.84個体）と温暖期の平均値（1.71個体）の間には有意差が認められた（ $p < 0.05$ ）。また、外套背長階級17 cm以上19 cm未満および19 cm以上21 cm未満では、寒冷期の平均値（1.36および2.54個体）と温暖期の平均値（3.18および4.18個体）の間には1%水準で有意差が認められた（ $p < 0.01$ ）。しかし、外套背長階級21 cm以上23 cm未満および23 cm以上では、寒冷期と温暖期の平均値の間に有意差は認められなかった。

以上のように、日本海におけるスルメイカの資源量は、1980年代前半は減少傾向にあり、1980年代後半以降に増加した。しかし、外套背長範囲によって資源量指数の変化傾向はやや異なっていた。外套背長が21 cm以下では1989年まで減少し、1990年以降に増加したのに対し、外套背長が21 cm以上では1986年まで減少した後、1987年以降に増加した。また、外套背長21 cm以下では寒冷期と温暖期では資源量指数の平均値に有意差が認められたが、外套背長階級が21 cm以

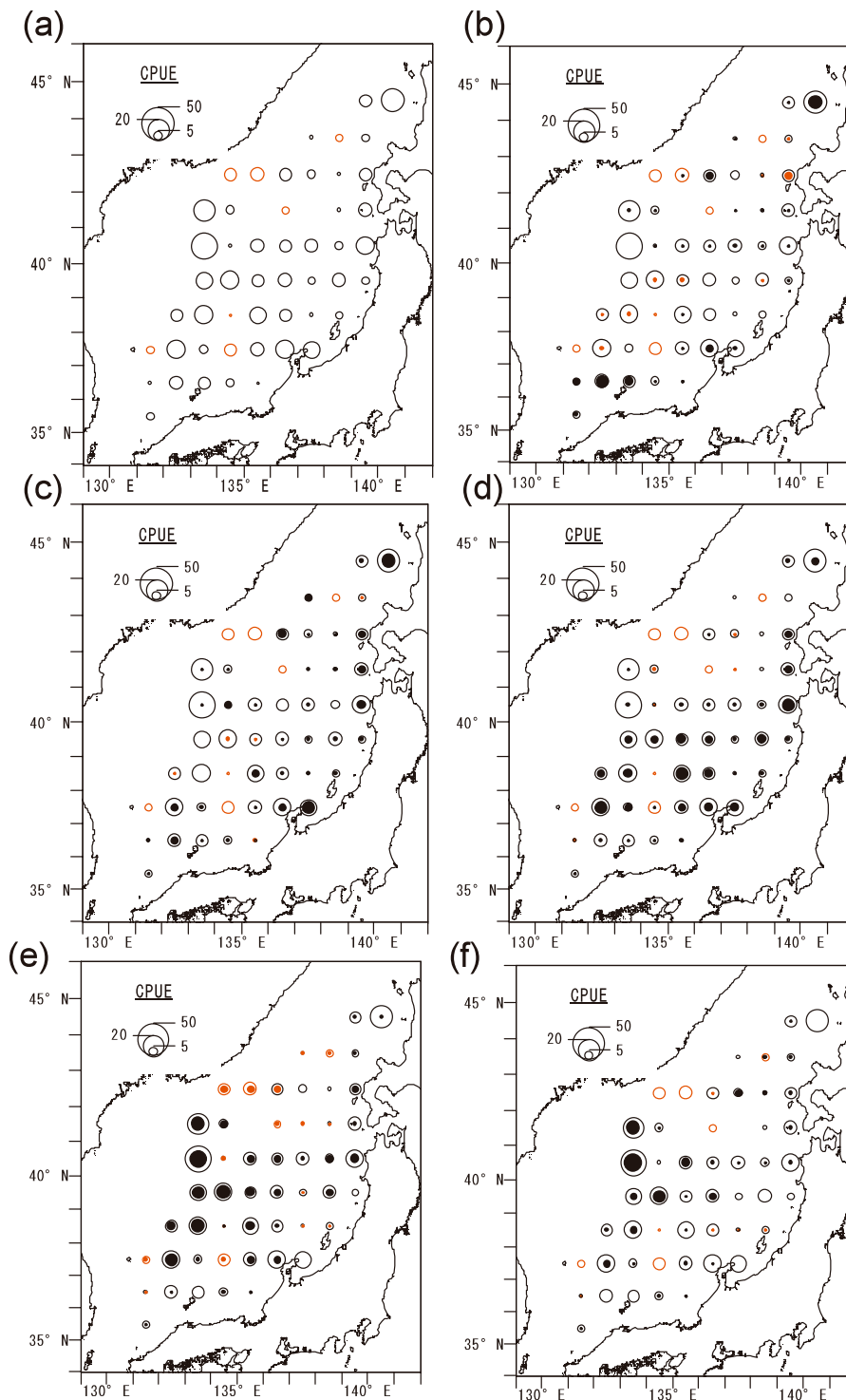


Fig. 22. Distribution map of the differences between 1979-1988 (before 88/89CRS) and 1989-2007 (after 88/89CRS) in CPUE averaged by 1° longitude \times 1° latitude grids. Differences in CPUE are shown as increments that were obtained by subtracting the average CPUE in 1979-1988 from that in 1989-2007. Open circles represent CPUE for the total mantle length class, and closed circles represent CPUE of each mantle length class. (a) CPUE in all mantle length classes, (b) CPUE in <17 cm mantle length class, (c) CPUE in 17 cm-19 cm mantle length class, (d) CPUE in 19 cm-21 cm mantle length class, (e) CPUE in 21 cm-23 cm mantle length class, (f) CPUE in above 23 cm mantle length class. CPUE is number of individuals caught by a jigging machine in an hour. Red circles mean negative values.

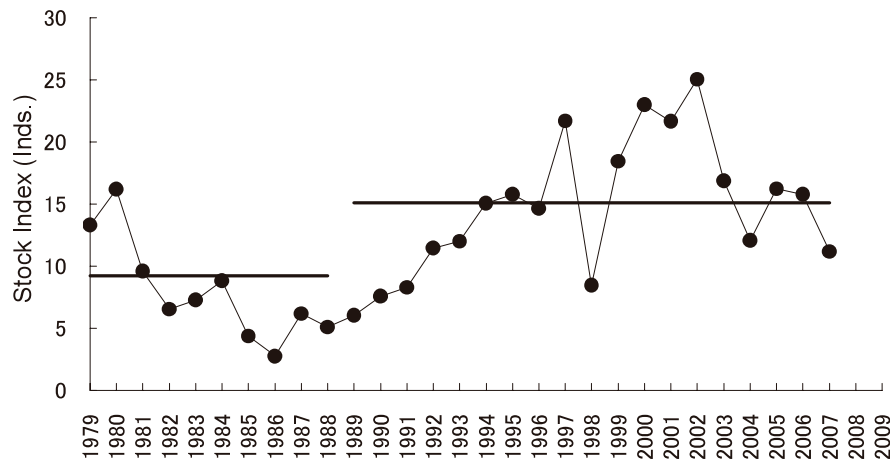


Fig. 23. Trend in the stock index of 1979-2007. Horizontal lines represent the average stock indices of 1979-1988 and 1989-2007.

上では有意差は認められず、明瞭な資源量水準の増加は検出されなかった。

各年の資源量指数における各外套背長階級範囲の割合の変化を、Fig. 25に示す。外套背長が17 cm未満および17 cm以上19 cm未満の占める割合は、1981年を除き、1980年代は概ね20%以下であり、1989年には5%程度に減少した。しかし、1990~1996年にかけて全体に占める割合が増加し、1996年には約50%に達した。1997年および1998年には一時的に20%以下に低下したが、その後は1980年代よりも高い値(30~40%)で推移した。

一方、外套背長19 cm以上21 cm未満の占める割合は、1989年に10%程度に低下した以外はほぼ20%前後で安定していた。外套背長21 cm以上23 cm未満および23 cm以上の占める割合は、1980年代は1981年を除き、50%前後を占め、1989年には約80%となった。しかし、1990年以降、外套背長21 cm以上23 cm未満および23 cm以上の占める割合は減少し、1990年代半ば以降は、1997年および1998年を除くと30~40%となり、2007年は20%を下回った。

1981年、1989年、1997年および1998年で見られるように各外套背長範囲が占める割合が、単年的に前後の年と大きく異なる年がみられたものの、中長期的な傾向として、1980年代は外套背長21 cm以上の大型の個体の占める割合が高かったのに対し、1990年代以降は大型の個体の占める割合が低下した。その代わりに、1990年代は外套背長19 cm未満の小型の個体の占める割合が増加した。

次に、資源量指数で重み付けした寒冷期(1979~1988年)と温暖期(1989~2007年)の外套背長組成をFig. 26に示す。寒冷期は21 cm階級にモードをもつ組成であり、温暖期は寒冷期よりも1 cm小さい20 cm階級にモードをもつ組成であった。各外套背長階級の資源量指数の差は17~19 cm階級で0.9個体前後であり、この外套背長階級で最も高い増加が見られた。増加率で見ると、16および17 cm階級で166%の増加率を示し、この範囲の増加率が最も大きかった。しかし、外套背長階級が20 cm以上では寒冷期から温暖期にかけての増加は各階級あたり0.5個体以下、増加率も50%以下に留まった。

2. 回遊経路の変化

再捕位置と回遊経路 Table 7に、標識放流したスルメイカの再捕個体数を旬別に示す。再捕報告は放流翌日から得られたが、時間の経過とともに減少した。特に10月下旬以降は再捕数が急速に少なくなった。各年の再捕率は1.75~8.535%であり、1987~1991年には再捕率が低下する傾向があった($n=5$, $p<0.05$)。

1984年の旬別再捕位置をFig. 27に示す。1984年8月上旬および中旬は、ほとんどの再捕報告が放流海域である沿海州南部沖の亜寒帯冷水域(水深50 mの水温5℃以下(Kasahara, 1978))より得られた。8月下旬になると、放流した沿海州南部沖に加えて、北緯35度東経134度の兵庫県沿岸でも再捕報告が得られた。兵庫県沿岸は水深50 mの水温が20℃以上であり、亜寒帯冷水域から暖水域への移動が見られた。9月上旬

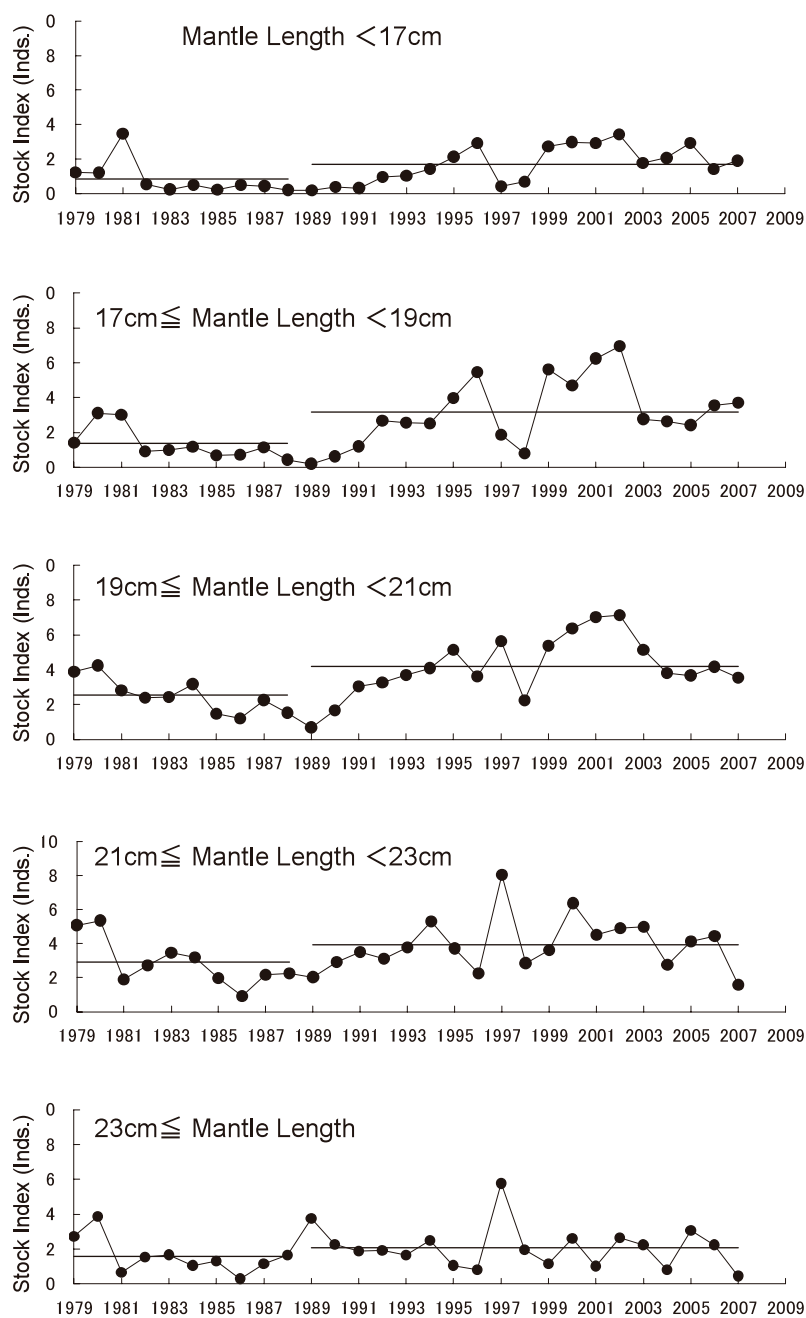


Fig. 24. Trends in stock indices of 1979–2007 for mantle length class: (a) <17 cm mantle length class, (b) 17 cm–19 cm mantle length class, (c) 19 cm–21 cm mantle length class, (d) 21 cm–23 cm mantle length class, (e) above 23 cm mantle length class. Horizontal lines represent the average stock indices of 1979–1988 and 1989–2007.

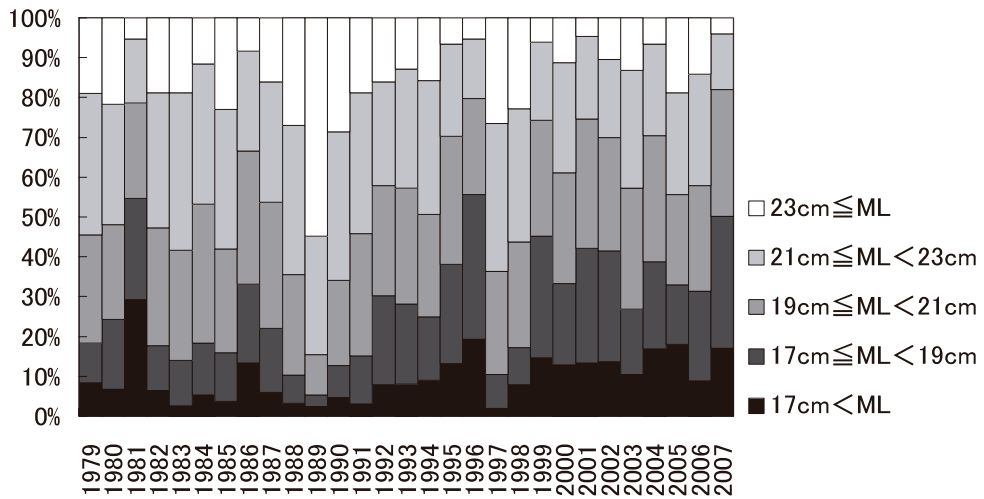


Fig. 25. Change in the mantle length class composition (%) in 1979-2007.

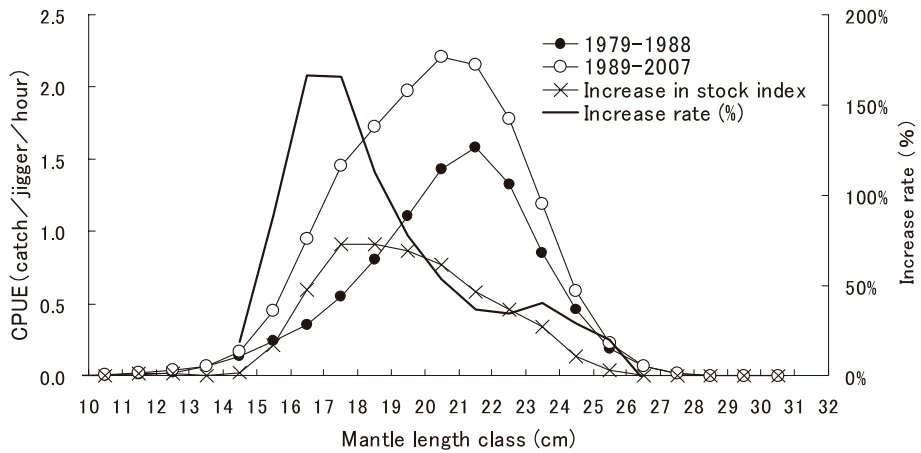


Fig. 26. Average stock indices in 1979-1988 (before 88/89CRS) and in 1989-2007 (after 88/89CRS) by 1cm mantle length class. In this figure, *represents* 1979-1988, ○ represents 1989-2007, and a heavy line represents an increment of stock index, which is obtained by subtracting average CPUE in 1979-1988 from average CPUE in 1989-2007.

Table 7. Changes in the number of recaptured squid in 1984 and 1987-1991

Date	Number of recaptures	Recapture rate (%)	Jul. ~31	Aug. 1~10	Aug. 11~20	Aug. 21~31	Sep. 1~10	Sep. 11~20	Sep. 20~30	Oct. 1~10	Oct. 11~20	Oct. 21~	N.D.	Total
29-Jul-84	151	8.89%	10	51	15	25	17	19	8	3	2	1		151
30-Jul-84	130	8.70%		81	20	10	4	6	4	1	3	1		130
31-Jul-84	65	7.51%		20	6	12	9	9	8	1				65
1984 total	346	8.53%												
25-Jul-87	98	9.80%	23	36	12	13	3	5	1	1		4		98
26-Jul-87	36	18.00%	7	16	5	6			1	1				36
27-Jul-87	98	9.80%		13	38	16	11	8	8	4				98
29-Jul-87	33	8.25%		4	3	9	7	2	5		1	2		33
30-Jul-87	370	11.21%		25	131	83	42	31	30	15	3	9	1	370
31-Jul-87	231	9.24%		32	70	85	12	15	8	4	3	2		231
1987 total	866	6.95%												
19-Aug-88	14	4.70%					5	2	3	4				14
20-Aug-88	124	6.27%				10	20	22	34	28	8	2		124
21-Aug-88	32	4.57%				6	5	4	7	9		1		32
24-Aug-88	128	6.40%				4	38	22	18	30	12	4		128
1988 total	298	5.99%												
21-Aug-89	103	3.71%				18	42	11	17	8	3	4		103
22-Aug-89	174	7.04%				85	49	10	10	13	2	4	1	174
23-Aug-89	71	2.86%				17	10	8	16	15	1	3	1	71
24-Aug-89	12	1.21%				1		1	1	4	1	4		12
26-Aug-89	16	1.62%					6	3	3	2	1	1		16
27-Aug-89	40	4.02%				1	16	9	8	1	2	3		40
1989 total	416	3.89%												
20-Aug-90	11	0.92%				3		2	1	3	2			11
21-Aug-90	22	1.11%				6	8	2	4	1		1		22
24-Aug-90	50	2.84%				3	17	13	4	4	5	3	1	50
28-Aug-90	12	2.40%					2	5	1	1	1	2		12
1990 total	95	1.75%												
29-Aug-91	54	3.18%					28	15	1	7	2	1		54
02-Sep-91	56	2.81%					31	8	2	6	3	3	3	56
03-Sep-91	21	1.91%					2	15	2	2				21
04-Sep-91	17	0.85%					1	4	4	4	2	2		17
05-Sep-91	20	1.00%					1	9	3	5	1	1		20
1991 total	168	1.91%												

および中旬でも、兵庫県沿岸と北緯40度付近の亜寒帯冷水域で再捕が見られるが、兵庫県沿岸での再捕割合が高かった。9月下旬以降は、ほとんどの再捕報告が北緯40度以南、水深50 mの水温が15℃以上の暖水域から得られた。

1987年の旬別再捕位置を Fig. 28に示す。1987年8月上旬から下旬にかけて、ほとんどの再捕報告が放流海域である沿海州南部沖の亜寒帯冷水域より得られた。9月上旬になると沿海州南部沖に加えて、北緯35度東経134度の兵庫県沿岸でも再捕報告が得られ、亜寒帯冷水域から暖水域への移動が見られた。さらに、9月中旬～下旬にかけて亜寒帯冷水域における再捕報告が減少し、10月以降の再捕報告は兵庫県沿岸の暖水域から得られた。

1988年の旬別再捕位置を Fig. 29に示す。1988年は8月下旬から9月上旬に標識放流を行った。放流直後の8月下旬は、放流した沿海州南部沖の冷水域から再

捕が得られた。9月上旬には、放流した海域付近に加え、水深50 mの水温が20℃以上の兵庫県沿岸の暖水域からも再捕があり、急速に南方に移動した。9月下旬以降は亜寒帯冷水域での再捕報告はなくなり、全て本州沿岸の暖水域から再捕報告が得られた。

1989年の旬別再捕位置を Fig. 30に示す。1989年も1988年同様、8月下旬から9月上旬に標識放流を行った。放流直後の8月下旬は1988年同様放流した沿海州南部沖の亜寒帯冷水域から再捕報告が得られた。しかし、1988年と異なり、9月上旬～9月下旬にかけても8月下旬同様に放流を行った沿海州南部沖、および北緯40度の和堆付近での再捕報告がほとんどであり、本州沿岸の暖水域へ移動する状況は見られなかった。10月上旬になると、和堆付近に加えて水深50 mの水温が20℃以上の山陰沿岸でも再捕報告が得られるようになり、魚群の南方への移動が見られた。10月中旬および下旬では再捕報告は少ないものの、山陰沿岸か

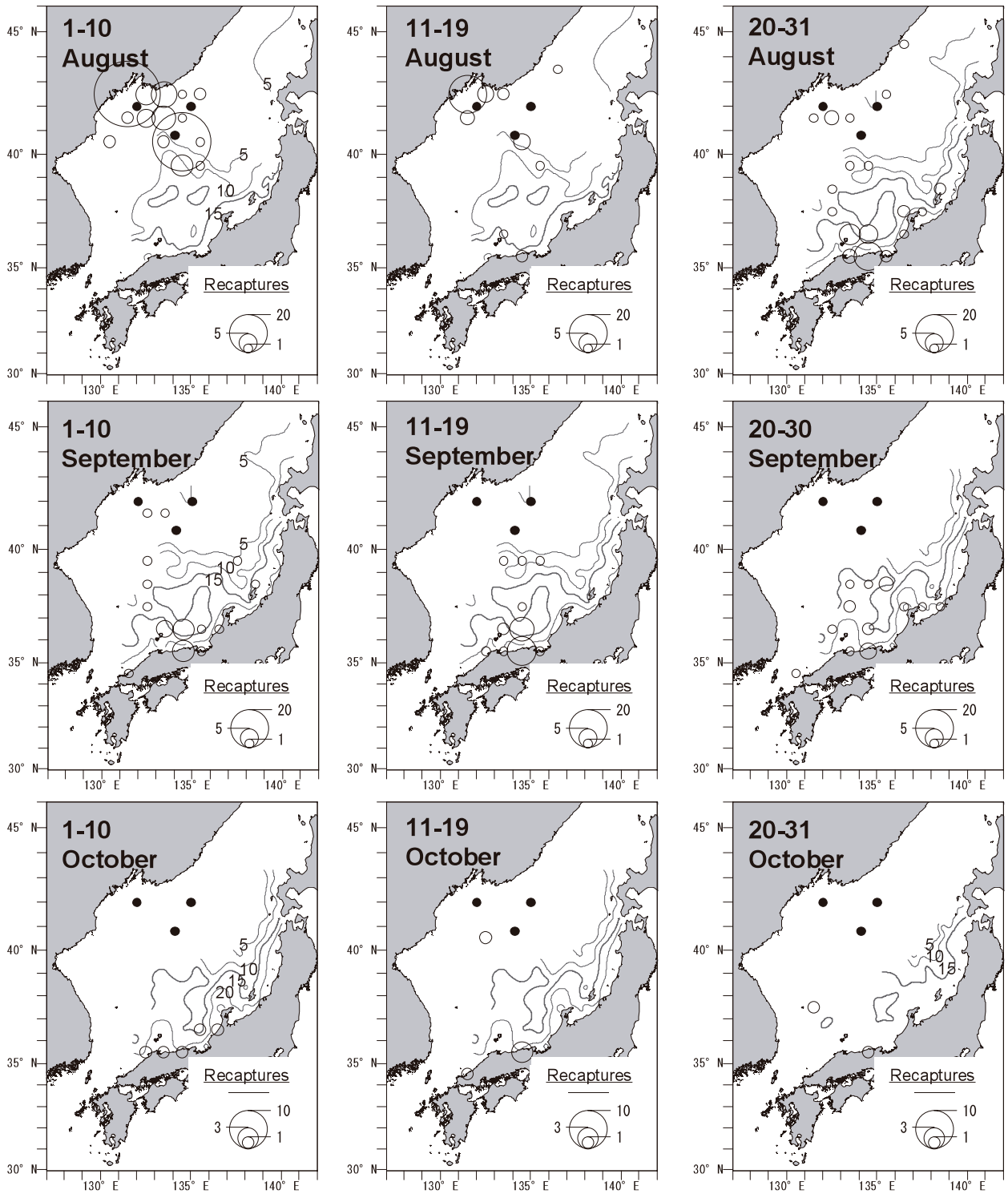


Fig. 27. Shifts in recapture sites and the number of recaptures in 1984. Distribution of water temperature at 50 m deep is shown by thin lines. ● represent the location of the stations where tagged squid were released (see Table 5 for release details). The area of ○ represents the number of recaptures by 1° longitude × 1° latitude grids.

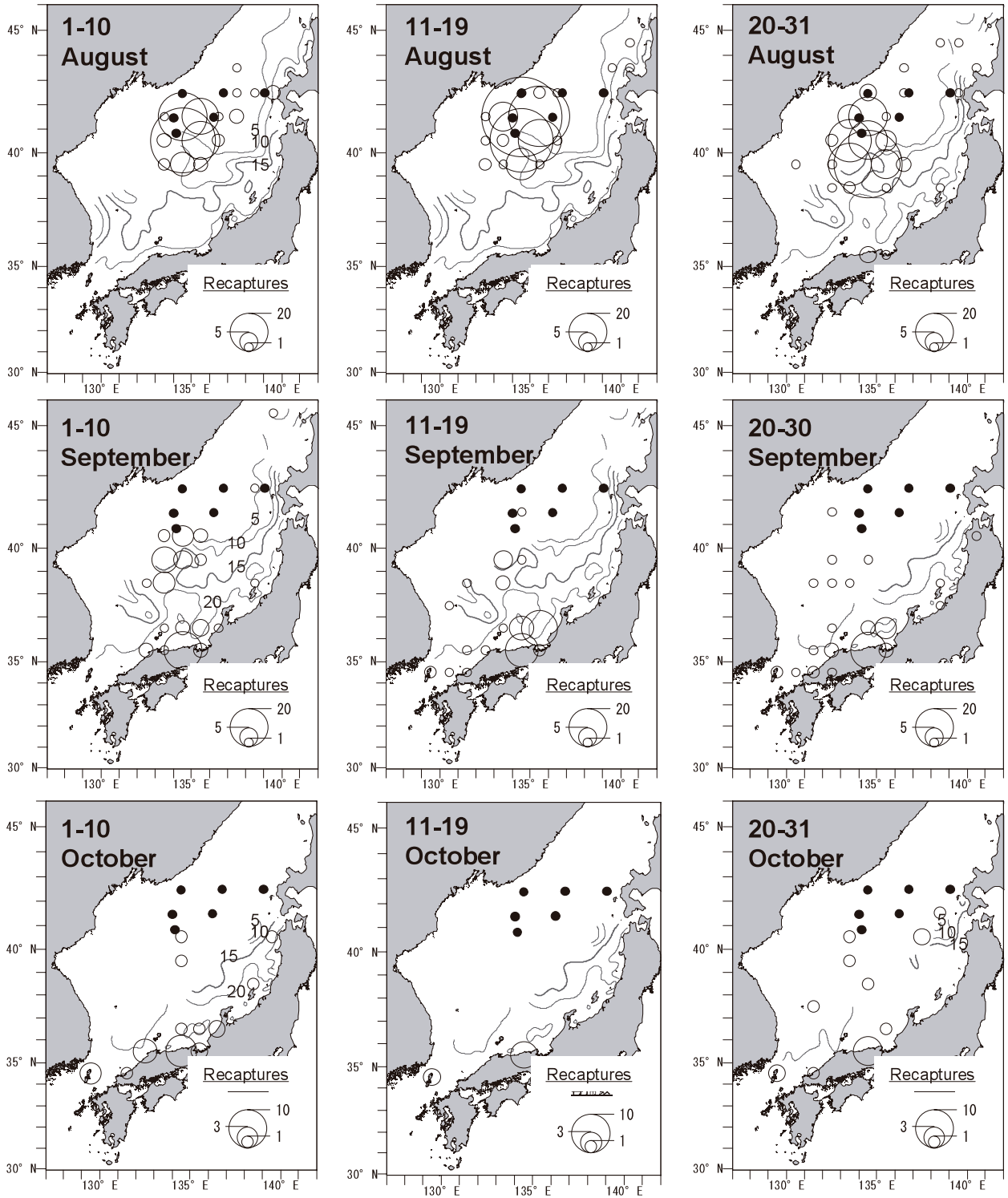


Fig. 28. Shifts in recapture sites and the number of recaptures in 1987. Distribution of water temperature at 50 m deep is shown by thin lines. ● represent the location of the stations where tagged squid were released (Table 5). The area of ○ represents the number of recaptures by 1° longitude × 1° latitude grids.

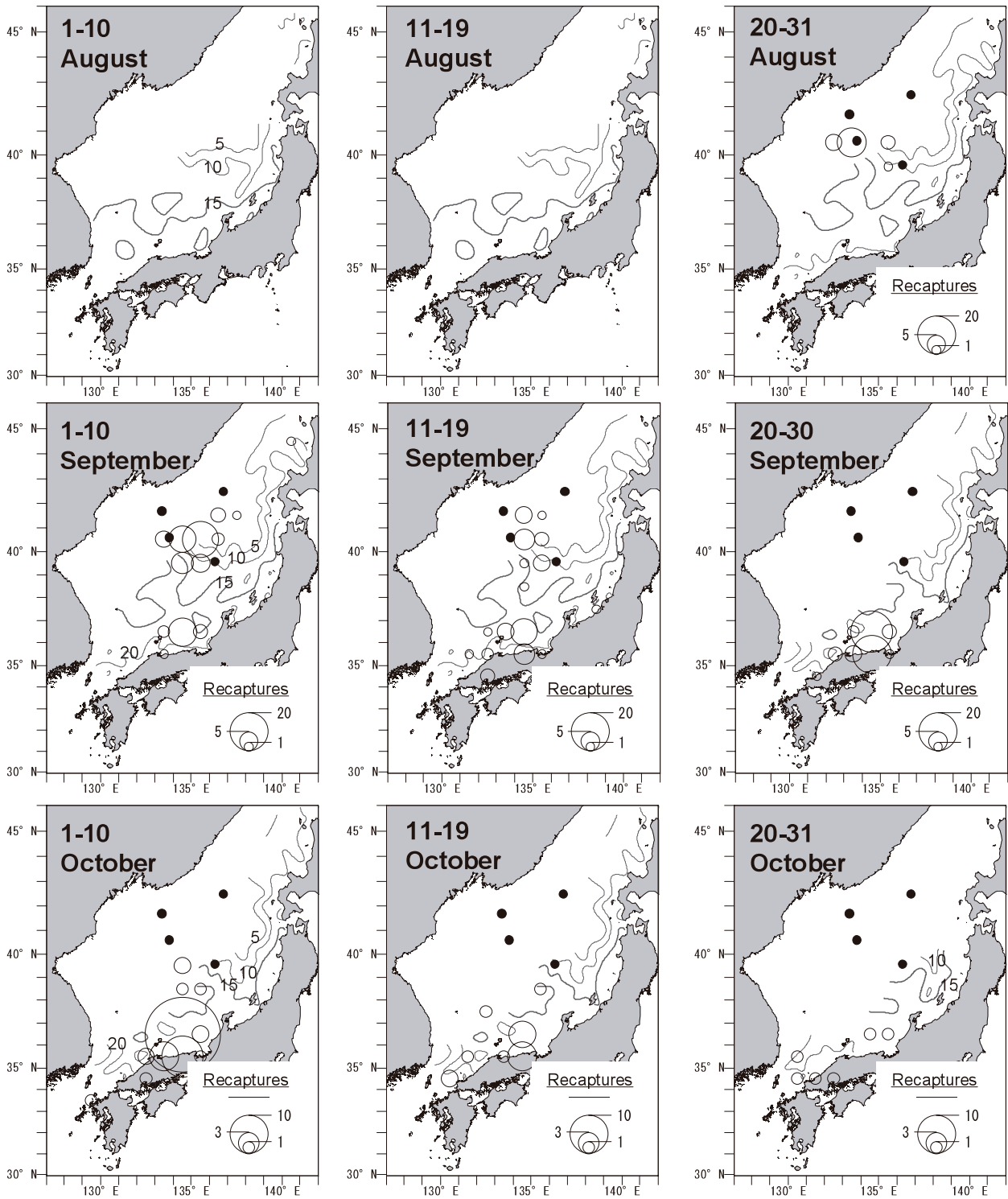


Fig. 29. Shifts in recapture sites and the number of recaptures in 1988. Distribution of water temperature at 50 m deep is shown by thin lines. ● represent the location of the stations where tagged squid were released (Table 5). The area of ○ represents the number of recaptures by 1° longitude × 1° latitude grids.

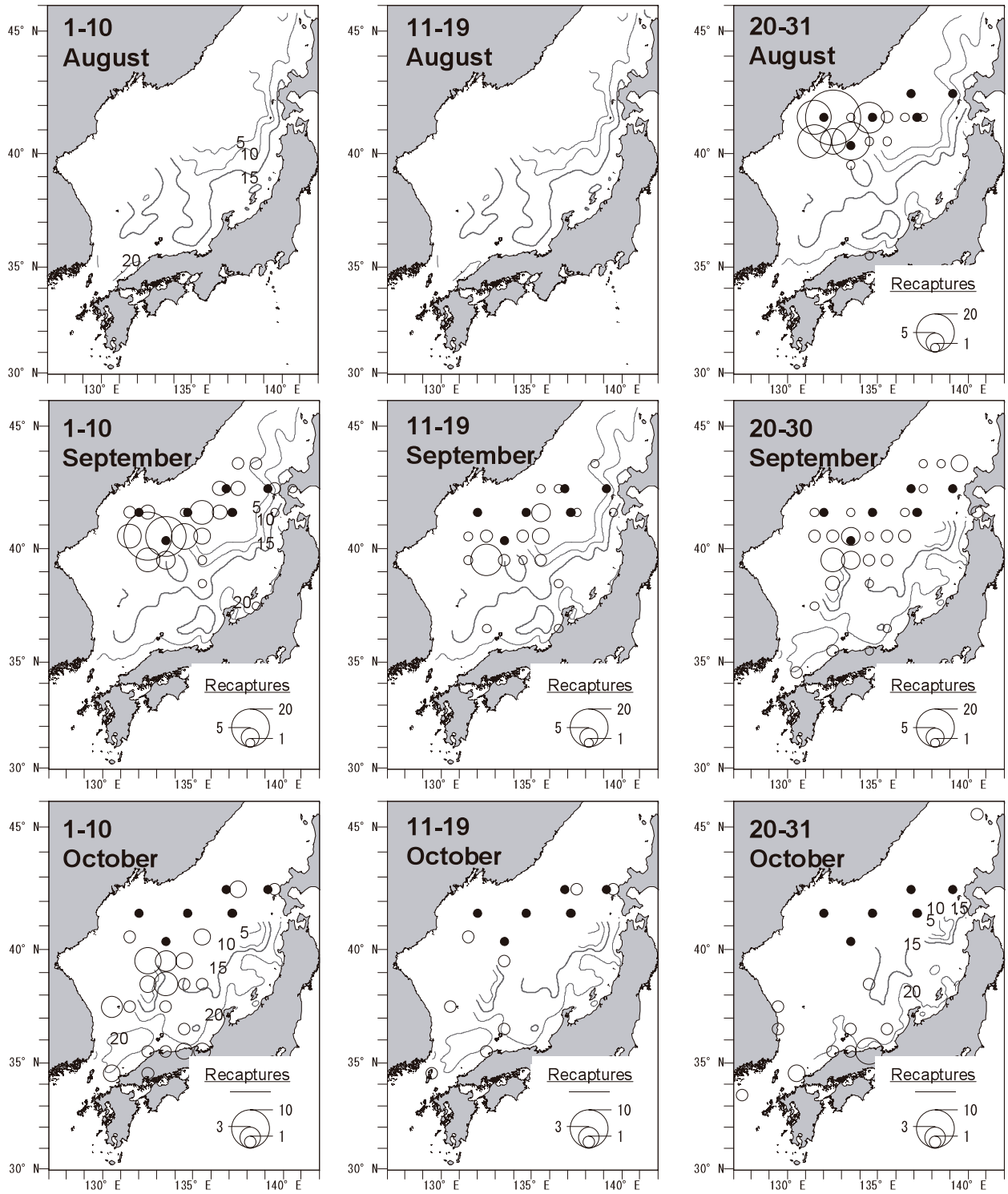


Fig. 30. Shifts in recapture sites and the number of recaptures in 1989. Distribution of water temperature at 50 m deep is shown by thin lines. ● represent the location of the stations where tagged squid were released (Table 5). The area of ○ represents the number of recaptures by 1° longitude × 1° latitude grids.

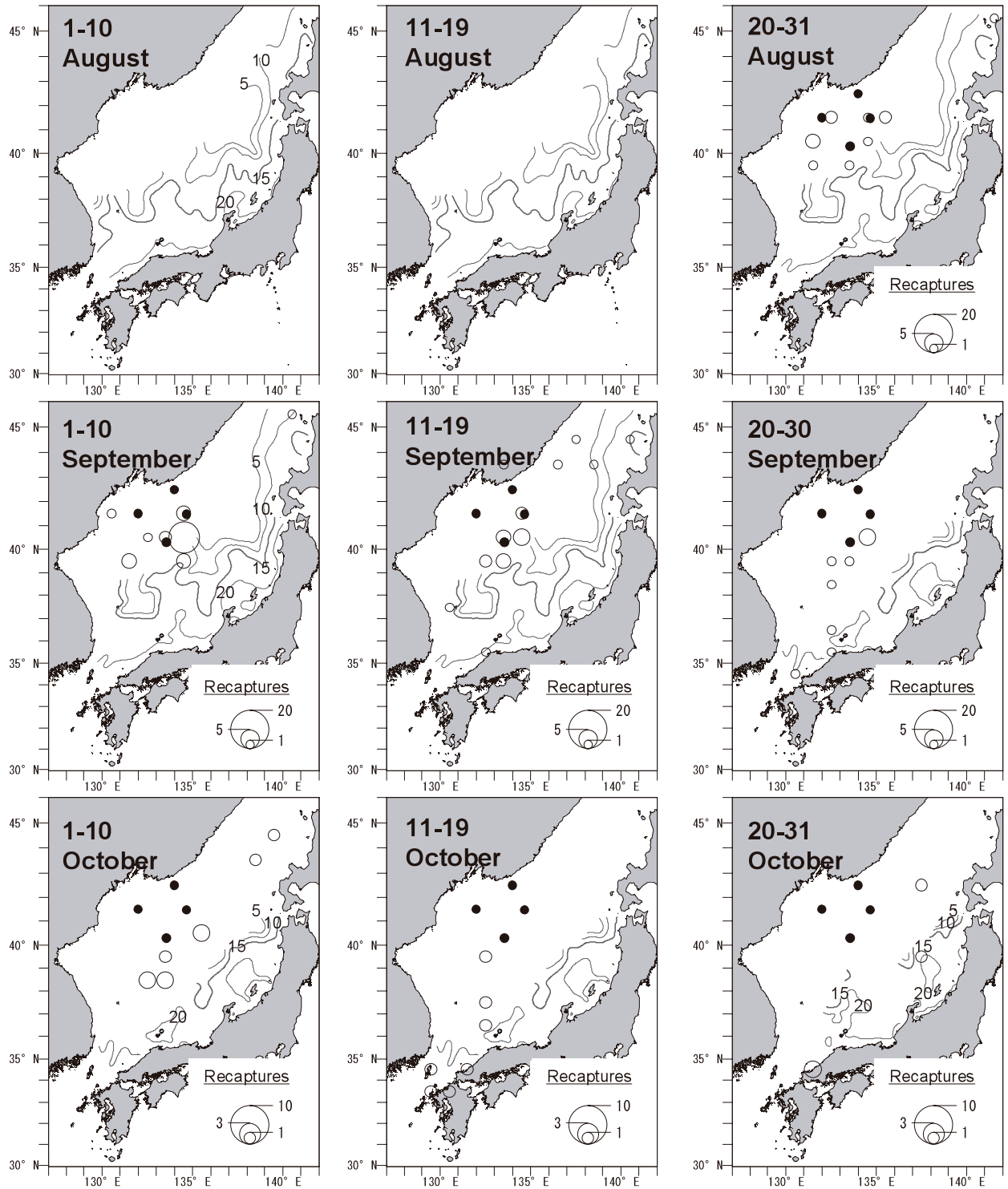


Fig. 31. Shifts in recapture sites and the number of recaptures in 1990. Distribution of water temperature at 50 m deep is shown by thin lines. ● represent the location of the stations where tagged squid were released (Table 5). The area of ○ represents the number of recaptures by 1° longitude × 1° latitude grids.

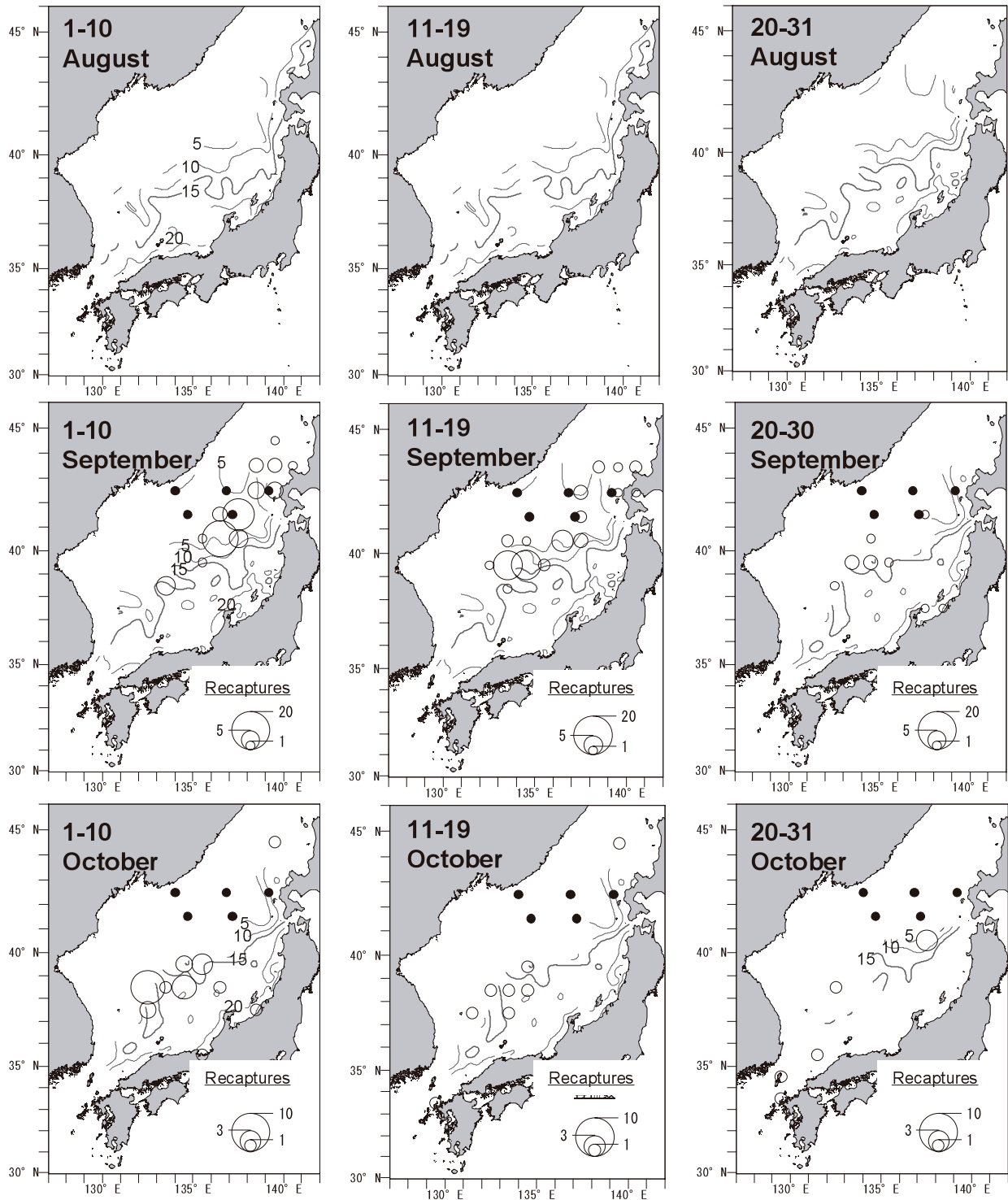


Fig. 32. Shifts in recapture sites and the number of recaptures in 1991. Distribution of water temperature at 50 m deep is shown by thin lines. ● represent the location of the stations where tagged squid were released (Table 5). The area of ○ represents the number of recaptures by 1° longitude \times 1° latitude grids.

ら対馬海峡付近の暖流域で再捕されるようになった。しかし、1984～1988年に見られたような北緯35度東経134度付近の兵庫県沿岸に再捕報告が集中する状況は見られなかった。

1990年の旬別再捕位置を Fig. 31 に示す。1990年は、放流直後の8月下旬から放流海域付近の亜寒帯冷水域で再捕され、9月中旬まで対馬暖流域への移動は見られなかった。その後、9月下旬から10月上旬にかけて、放流海域の南に位置する大和堆付近で再捕報告が得られ、10月中旬および下旬には、山陰沿岸の水深50 m の水温が15℃以上の暖水域で再捕報告が得られた。

1991年の旬別再捕位置を Fig. 32 に示す。1991年は、主に9月上旬に標識放流調査を行った。放流直後の9月上旬は、放流海域付近の亜寒帯冷水域で多く再捕報告が得られた他、一部北海道沿岸でも再捕された。9月中旬から10月中旬には、再捕位置が亜寒帯前線沿いに南西に移動したが、本州沿岸の暖水域では再捕が得られなかった。10月下旬には対馬付近および山陰沿岸で再捕され、暖水域への南下が見られた。

以上の年別の再捕報告から、魚群の移動の特徴を整理すると、8月の再捕報告は、1984年の8月下旬を除き、どの年も標識放流を行った亜寒帯冷水域で得られており、8月には魚群の大きな移動は見られなかった。9月の再捕報告は、1984～1988年は水深50 m の水温が5℃以下の亜寒帯冷水域に加えて、水深50 m の水

温が20℃以上の兵庫県を中心とした山陰沿岸でも多く得られた。特に、9月下旬では亜寒帯前線付近での再捕数よりも山陰沿岸での再捕数が多く、沖合で放流したスルメイカは9月に南方へ大きく移動していた。しかし、1989～1991年は9月の再捕報告が主に亜寒帯冷水域および北緯40度付近の亜寒帯前線付近（水深50 m の水温5～10℃）で多く得られたが、暖水域での再捕はほとんどなく、亜寒帯冷水域から暖水域への魚群の移動は見られなかった。

10月は再捕報告数が大きく減少したものの、1984～1988年では亜寒帯冷水域の再捕数に比べ山陰沿岸の暖水域での再捕数の割合が高く、再捕報告が暖水域のみから得られた場合もあった。一方、1989～1991年では、9月同様、亜寒帯冷水域および亜寒帯前線付近での再捕が多いものの、山陰沿岸の暖水域での再捕報告もあり、南方へ移動する状況も見られた。しかし、1984～1988年の再捕結果で見られたような兵庫県沿岸に再捕報告が集中する状況は見られなかった。

平均再捕位置の変化 各年の再捕報告が得られた海域の平均緯度の旬別変化を Fig. 33 に示す。8月下旬では、1984～1988年は40.50～41.25°N、1989～1991年は41.11～42.90°Nであった。9月では、1984～1988年は上旬から下旬に大きく低下し、9月下旬には36.89～37.74°Nとなった。しかし、1989～1991年では、9月でも大きな南方への移動は見られず、9月下旬は

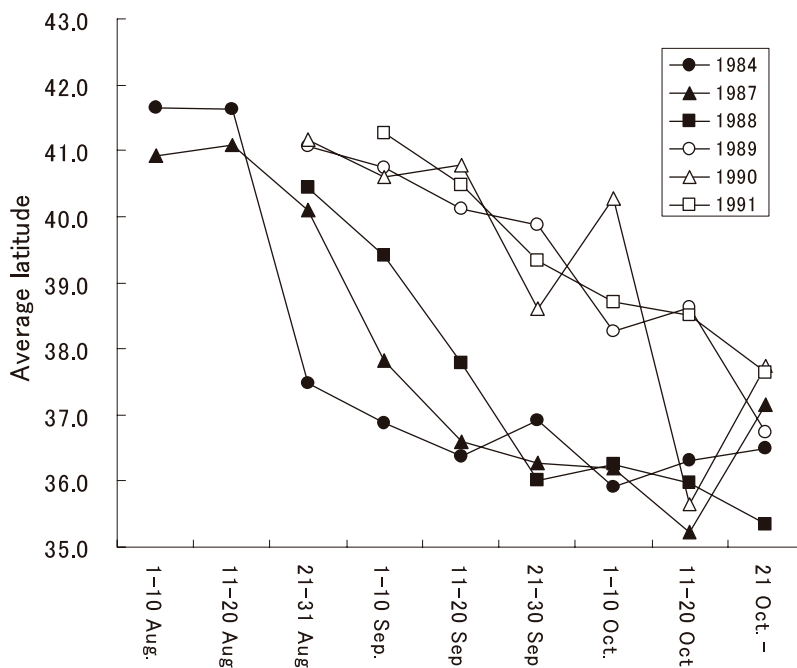


Fig. 33. Changes in the average latitude of recapture sites in 1984-1991.

39.88~40.67°N であった。

1984~1988年は、10月も再捕位置の平均緯度が低く経過し、10月中旬には35.43~36.33°Nと最も低くなった。10月下旬はやや北上し、36.83~37.93°Nとなった。一方、1989~1991年では、10月以降は徐々に南下し、10月下旬以降には37.32~37.92°Nとなった。

88/89CRSを境とした平均再捕位置は、8月下旬には差は見られなかった。しかし、9月上旬では1984~1988年の平均再捕位置が大きく南に移動し、1989~1991年の平均再捕位置との間に、有意差 ($p < 0.05$) が認められた。9月中旬から10月上旬でも同様に1984~1988年の再捕位置は1989~1991年の再捕位置よりも南にあり、有意差が認められた ($p < 0.01$)。しかし、10月中旬および下旬では、1989~1991年の再捕位置も南下し、再び有意差が認められなくなった。このように、1988/89年のCRS前後では、9~10月中旬におけるスルメイカの再捕緯度が異なっており、日本海沖から産卵場へ移動する時期が異なっていた。

考 察

1. 分布・資源構造の変化

第1章では、夏季の日本海では発生時期や成長および回遊経路が異なる複数の群が存在することを示した。これらは外套背長組成範囲に重複が見られるものの、前年の10~11月に生まれた沖合域の亜寒帯冷水域分布する群は外套背長21 cm以上であり、同じ時期に生まれても沿岸の暖水域に分布する群は18~22 cmであった。また、前年の12月に生まれた個体は16~19 cmであったことから、外套背長によって、これらの群のおおよその区分が可能と考える。

本章で示した寒冷期と温暖期の平均分布図では、資源が減少した寒冷期と資源が増加した温暖期においても第2章で示したように、沿岸の暖水域には主に外套背長18~22 cm、沖合の冷水域には外套背長21 cm以上、および北部海域では外套背長16~19 cmのスルメイカが分布しており、資源水準による変化は見られなかった。第2章で区分した資源構造をあてはめると、資源水準の変化にかかわらず、夏季の日本海沖合域には10~11月生まれの成長が良好な群が分布し、沿岸には同じ発生時期ながらも成長が遅い群が分布、さらに道北以北の日本海北部海域には主に12月に生まれた群が分布していたと判断される。

マイワシ(黒田, 1991; 和田, 1988)やカタクチイワシ(渡邊, 高橋2007)の例でも見られるように、浮魚資源では、一般に資源の増大とともに分布回遊域が顕著に拡大する傾向がある。しかし、スルメイカでは、

資源水準の変化によって各発生時期の群の分布域が、大きく拡大、縮小する傾向は見られず、発生時期によって分布域および分布範囲がある程度規定されていることを示している。つまり、10~11月に生まれた群の資源量の増大によってこの群の分布域が、12月に生まれた群が分布する道北海域、さらには太平洋側にまで拡大することはないと考える。

各海域に分布するスルメイカの外套背長組成は、CRSによって大きく変化していなかったが、外套背長範囲によって資源量指数の変化には違いが認められた。資源水準が増加した1980年代から1990年代にかけて外套背長21 cm以上ではCRSを境とした有意な資源水準の増加が見られなかった。このことは10~11月生まれの群でも亜寒帯冷水域に分布する沖合群では寒冷期と温暖期における資源量指数の平均値に差が検出されず、資源の増加が明瞭ではなかったことを示している。それに対し、外套背長19 cm以上21 cm未満の範囲では有意な変化が認められ、同じ10~11月に生まれた群でも対馬暖流域に分布する沿岸群では明らかな増加が見られた。また、外套背長17 cm以上19 cm未満の範囲では増加が著しく、北部海域に分布する主に12月生まれの群は著しく増加し、80年代から90年代にかけての資源量の増加に大きく寄与していたと判断される。つまり、1990年代の日本海におけるスルメイカの変動特性として、主発生時期の12月までの拡大によって、12月に生まれた群の分布域である北部海域で著しい資源増加があったと考える。

以上のように、日本海におけるスルメイカの特性として、寒冷期では主産卵時期は10~11月のみであるが、温暖期に移行すると、12月に生まれた群が増大することによって主要な発生時期が10~12月に拡大し、特に道北海域で資源量が増大するとともに全体の資源量が増大したと考えられた。このことは、発生時期によってスルメイカの環境に対する応答が異なり、資源量の変化とともに資源構造が変化したことを示している。また、同じ10~11月に生まれたスルメイカであっても、亜寒帯冷水域に分布するスルメイカ(外套背長主に21 cm以上)では資源水準の増加が明瞭でなかったのに対し、暖水域に分布するスルメイカ(外套背長主に19 cm以上21 cm未満)では資源量指数が大きく増加しており、同じ発生時期でも分布海域によってCRSによる応答の違いも認められた。

単年生のイカ類では、海洋環境の変化による加入量変動へのリスク分散戦略として、産卵・発生時期の分散があり、それに伴う産卵時期および分布海域が異なるマイクロコホートが存在することが想定されている(Boyle and Rodhouse, 2005)。これらマイクロコホー

トは産卵発生時期および産卵時期が異なり、さらには依存する海流系によって輸送環境が異なる。そのため、海洋環境による応答特性もそれぞれの発生時期によって異なり、海洋環境の変化に対するイカ類の加入量の変化や安定性に関わっていると想定されている (O'Dor, 1998)。このようなイカ類特有の生活史戦略および発生時期による海洋環境の応答の違いは、年々の海洋環境の変化に加え、CRSによるスルメイカの資源変動に伴う資源構造の変化として現れることも想定される。2章では、発生時期や分布海域および成長の違いをもとに、これまでの季節別発生群よりも細かい単位で群区分したが、本章の結果では、これらの各群は海洋環境の変化に対し、それぞれに異なる応答を示していることが示された。つまり、上記のマイクロホートの役割を示す群単位に相当すると判断され、資源量の変化および安定性に関わっていると想定される。

では、なぜ CRS によって日本海が温暖化すると12月に生まれたスルメイカの資源が特に増加し、またその後の1990年代以降の1~3月に生まれたと推定される冬生まれ群の増加 (Sakurai *et al.*, 2000; 森, 2006) に繋がったのであろうか。このことは、スルメイカの資源変動機構を解明する上での重要な要素と考える。

近年、稚仔魚の生残機構を解明する試みとして、海流による輸送シミュレーションを用いた研究が発展してきた (小松, 笠井, 2007)。スルメイカでも、藤井ら (2004) によって海洋動態モデルを用いたスルメイカ幼生の輸送シミュレーションが行われている。この手法を用いたスルメイカの海洋環境の変化による資源変動機構を解明する試みとして、まず、1980年代と1990年代の日本海の海洋環境の平均的な流動場を数値モデルによる再現が行われた (渡邊ら, 2007)。さらに、輸送環境による死亡条件を与えて1980年代と1990年代におけるスルメイカの生残状況の変化を再現する研究も行われている (渡邊ら, 2007)。試行例では、1990年代では亜寒帯前線が北に後退したことによって対馬暖流の特に沖合分枝が蛇行しやすくなるように変化し、暖水域に取り込まれやすくなったことから、12月に生まれたスルメイカの生残率が1990年代に急速に向上する試算結果が得られている (渡邊ら, 2007)。孵化幼生の暖水渦への取り込みの影響は、Gulf Stream におけるカナダイレックスでも想定されており (Dawe *et al.*, 2000)、暖水渦による取り込みが初期生残率を向上させ、加入量を多くする。このような暖水渦による取り込みは、海流による輸送過程がアカイカ類の生残率に影響を与える共通の要因として注目される。

2. 回遊経路の変化

本研究で用いた標識放流調査の再捕結果では、1987~1991年にかけて再捕率が低下する傾向があった。これまで、スルメイカの再捕報告率は、資源水準が高い年代は再捕報告率が低く、資源水準が低い年代は再捕報告率が高い傾向が見られている (Nagasawa, 1993)。なお、資源水準が高い近年の日本海沖合域における標識放流調査の再捕率 (第2章の結果) は1%以下であった。資源水準と再捕率の関係には、漁獲率の変化による影響もあるが、漁業者による再捕個体への検出・対応率が大きく影響すると考えられる。すなわち、資源の低水準期は漁獲量が少なく、操業中の作業に時間的な余裕があることから、標識の検出・対応率が高い。しかし、漁獲量が増加すると、漁獲物中の標識に対応する時間的余裕が減少し、標識の検出・対応率が減少し、結果的に再捕報告率を低くする。さらに資源が低水準期には、漁業者がより多くの情報を収集する意欲が高く、調査への協力が積極的になることも予想される。

スルメイカの資源量は1987年以降増加傾向にあり、本研究で用いた1987年以降の再捕率の低下は資源量の変化に伴う一般的な傾向を反映していると考えられる。しかし、このような要因による再捕率の変化はどの海域でも同様に働くことが想定され、再捕結果をもとに分布・回遊経路を解析する上でのバイアス要因にはならないと判断する。

北西太平洋では1988/89年(88/89CRS)の前には、1976/77年に海洋環境が大きく変化した(76/77CRS)とされ、1977年以降、北西太平洋の海洋環境は、温暖な環境から寒冷な環境へ変化した (Hare and Mantua, 2000)。漁獲量からも示唆されるように、1976年以前のスルメイカの資源水準は高かったと推察される。温暖な環境であり、スルメイカの資源水準も高かった1976年以前の回遊経路は、1966~1971年の標識放流調査をもとに調べられ、9月に亜寒帯前線に沿って南西方向に移動して韓国東沖に移動した後、10月には対馬海峡に南下する状況が報告されている (笠原, 伊東, 1968; 笠原, 1972; 新谷, 1972; 村田ら, 1973)。

1984~1988年の再捕結果では、日本海沖合域に分布するスルメイカは、日本海沖合から9月に兵庫県沿岸の暖水域に來遊しており、776/77CRS 以前の回遊経路とは異なっていた。さらに1989~1991年の再捕結果では、1984~1988年に見られた9月に兵庫県沿岸の暖水域に南下する回遊経路はみられず、88/89年を境として回遊経路が再び変化した。また、第2章でも示したように、1992年以降の6月下旬から~7月中旬に日

本海沖合域で放流した群も9月まで沖合域に留まった後、10月に対馬海峡から東シナ海に南下しており、9月に兵庫県沿岸の暖水域に集中せず、1984~1987年とは異なった回遊経路であった。

1989~1991年の再捕結果、および第2章における沖合群の再捕結果では、韓国水域における操業規制の影響で、韓国東沖からの再捕結果は残念ながら殆ど得られず、この海域への移動状況は70sで示されたほど明瞭に示されなかった。しかし、1990年代以降、韓国東沖と対馬海峡付近において韓国漁船による10月の漁獲量が急増していること(NFRDI, 2000; Kang *et al.*, 2002)、および近年のDMSP画像ではイカ釣り漁船が韓国東から対馬海峡に多く操業している(Kiyofuji and Saitoh, 2004)。このことから、日本海沖合に分布していたスルメイカは、88/89CRS以降に資源水準が高くなると、70s同様、韓国東沖に移動した後、対馬海峡に南下すると推察される。つまり、スルメイカの回遊経路はCRSによる海洋環境の変化によって異なり、高水準期には沖合域から韓国東に移動した後、対馬海峡に南下するパターンであるが、資源の低水準期には、沖合から韓国東沖に移動せずに兵庫県を中心とした山陰沿岸に南下するパターンを示すと考える。

日本海のスルメイカの産卵場の形成位置は資源水準によって変化してきた(笠原, 1987; Goto, 2002)。概要として、資源水準の高かった1970年代半ばまでは秋季のスルメイカの産卵場は山陰沿岸から対馬海峡に形成された。しかし、資源水準が低くなると、スルメイカの産卵場は北東方向に縮小し、対馬海峡付近に形成されなくなった。その後、資源水準が回復した1980年代後半以降は再び対馬海峡付近に形成された。このような秋季の産卵場の変化は、日本海におけるスルメイカの回遊経路の変化と同調しており、スルメイカの産卵場の変化には産卵回遊経路の変化が深く関係していると考えられている(桜井, 1998; Sakurai *et al.*, 2000)。特に、1989年以降、幼生の採集密度は急速に増加しており(Goto, 2002)、本研究で示された88/89CRSを境とした回遊経路の変化との関連が注目される。

スルメイカの分布・回遊は海洋環境(水温分布)と深く関係することから(新谷, 1967; 長沼, 1967; Kasahara, 1978; Kiyofuji and Saitoh, 2004)、本研究で見られた回遊経路の変化は、海洋環境による水温分布の変化が直接的に影響を与えたことが要因として想定される。日本海沖合域のスルメイカ分布は亜寒帯前線の位置と深く関係する(Kasahara, 1978)が、1984年は亜寒帯前線が大きく蛇行し、水深50mの水温分布が資料に用いた他の年と大きく異なっていた。1984

年の再捕位置も他の年とはやや異なり、8月下旬には亜寒帯前線の蛇行によって日本海中央部から沿岸の広い海域に再捕位置が分散していた。しかし、1987~1991年の水温分布図では、9月の亜寒帯前線の位置や水温分布にそれほど大きな変化は見られない。そのため、水温分布の直接的な変化から88/89CRSを境とした回遊経路の変化を説明するのは不十分と思われる。したがって、1984年のように極端に水温が低下した年では水温の直接的な回遊経路への影響が見られるものの、88/89CRSを境とした回遊経路の変化には、水温の直接的な影響のみでは説明が不十分であり、水温以外の要因も関与していたと推察される。

1984~1988年では、9月に水深50mの水温が15℃以上の海域で再捕され、スルメイカが暖水域に移動し始めた。しかし、1989~1991年は、殆どの個体が9月に水深50mの水温が5℃以下の冷水域および水温5~15℃の亜寒帯前線付近に留まっており、9月に暖水域へは移動しなかった。また、本研究の結果では1984~1988年と1989~1991年では9~10月中旬の再捕位置の平均緯度に差が見られ、1984~1988年では約1ヶ月早く産卵場へ移動する状況が示された。冷水域から暖水域に達したスルメイカは、速やかに産卵し、死亡すると想定される(Kidokoro and Sakurai, 2008)ことから、1984~1988年は9~10月に暖水域に産卵したのに対し、1989~1991年は10月以降に産卵したと考えられる。つまり、88/89年のCRSを境として、日本海沖合域に分布していたスルメイカの主な発生時期が約1ヶ月変化したと推察される。スルメイカの卵発生には水温15~22℃が適当であり(Sakurai *et al.*, 1996)、スルメイカの産卵場は水温の上昇、下降とともに季節的に変化する。そのため、主産卵時期の変化が南下回遊経路および産卵場の変化にも影響を与える。つまり、本研究の結果で見られた回遊経路の変化には、水温環境の直接的な影響に加え、中心となる産卵時期の変化も同時に影響したと考える。

本章の結果から、スルメイカはCRSによる海洋環境の変化によって資源量的および生態的な影響を受けるが、発生時期や分布海域によって受ける影響は異なり、88/89CRSによって日本海では資源構造の変化(主発生時期が12月まで拡大)と、主分布域の拡大(道北での資源量増加)が見られた。また、同じ日本海沖合域に分布する群においても海洋環境の変化によって産卵回遊経路の変化が見られ、産卵回遊経路の変化が産卵場の変化と深く関連していることが示された。したがって、このような資源構造および生態的な変化を捉えることで、海洋環境の変化を確認するとともにスルメイカの資源動向を予測することも可能と考える。

第3章 資源量と持続生産量の変化

1998年以降、我が国ではスルメイカ資源はTACによる管理が行われている。TACは、研究者が算定し提案するABCをもとに、行政当局が社会的および経済的要因を考慮して決定する。しかし、第3章で示したようにスルメイカの資源量および資源構造はCRSによって大きく変化する。したがって、TACの基礎となるABCを的確に算定するには、ABC算定に必要な資源量や持続生産量及び管理基準値を精度良く推定することに加え、これらの諸特性値がCRSによってどの程度変化するか定量的に推定することが重要である。

これまで、イカ類の資源量は主に除去法 (Leslie and Davis, 1939; DeLury, 1947) を用いて推定されてきた (Rosenberg *et al.*, 1990; Pierce and Guerra, 1994)。しかし、自然死亡や移出入、および資源量指数の取り扱い等の問題を含んでおり、精度の高い推定は困難である。スルメイカの資源量も、これまで除去法 (Okutani, 1977; 中村, 1996; 森, 2006)、コホート計算 (笠原, 1978)、プロダクションモデル (長谷川, 1985)、および幼生の分布量 (Okutani and Watanabe, 1983) 等の方法で推定され、資源評価が行われてきた。しかし、他のイカ類同様、それぞれの手法独自の問題が含まれている。また、スルメイカ漁業は漁場開発等により大きく変化しており (新谷, 1987)、漁業データに大きく依存した手法でスルメイカの資源量の変化を長期的に推定するのは問題が多い。

日本海におけるスルメイカの資源構造は第2章にて整理したが、これまで季節別発生群を中心にスルメイカの資源構造の区分が明確でなかったことから、これまでの資源量推定結果は対象とする系群の範囲が異なってきた。たとえば、Okutani (1977) や笠原 (1977) では、日本海の沖合域で漁獲されたスルメイカのみを対象に秋生まれ群の資源量を推定したが、安達 (1988) では、さらに外套背長組成より系群を区分して日本海の沿岸も含めたスルメイカを取り扱った。また、現在の資源評価における秋季発生系群 (木所ら (2003) の範囲は、日本海沿岸に分布する群も対象としており、Okutani (1977) や笠原 (1977) よりも広い分布・発生時期の群が対象となる。したがって、スルメイカの資源量の推定結果、および経年的な資源量の変化を比較検討するには、資源量推定の対象とした群に注意して検討する必要がある。本章では、第2章で整理した結果をもとに主に10~12月に生まれた秋季発生系群と対象として資源量を推定した。さらに、資源管理方策を策定する上で必要となる再生産関係および持続生産量

がCRSを境に変化することを仮定して、CRSによって定量的にどの程度変化するかを推定した。

試料と方法

生物情報 秋季発生系群の生物情報 (成長, 自然死亡係数) は次の通りとした。スルメイカはふ化後6ヶ月以降に加入し、寿命とされる1年 (孵化後12ヶ月) までの6ヶ月間に漁獲対象となる。つまり、ふ化後6ヶ月の個体数を資源個体数とした。なお、漁期間にスルメイカは成長するため、漁期初めと漁期終了期では体サイズが異なるが、漁獲量から漁獲個体数を推定する際、および資源量を計算する際は、定数として、漁獲物の体重を漁獲対象となる期間の中間にあたる孵化後9ヶ月の体重 (=280 g, 木所ら1996) を用いて計算した。自然死亡係数は、これまでバイオマス解析 (土井, 川上, 1979; 安達, 1988)、標識放流調査 (町中ら, 1980) による推定が試みられているが、生活史や漁期加入の仮定等が異なることから、これらの値を利用することは適当ではない。そこで、Caddy (1996) のイカ類の自然死亡係数に関する総説を参考に、月当たりの自然死亡係数0.1 (加入後6ヶ月で0.6) を仮定値として用いた。

資源量の推定 まず、スルメイカ秋季発生系群の資源個体数 (N_t) は、資源量指数値 (U_t) に比例すると仮定した。

$$N_t = q \cdot U_t \quad (2)$$

N_t は t 年の資源個体数 (億個体)、 U_t は t 年の資源量指数であり、資源量指数に比例定数 (q) をかけることで、資源個体数 (N_t) が計算される。資源量指数には、第3章で用いた調査船の試験操業結果から得られた平均CPUEを用いた。資源個体数に1個体あたりの体重 (280 g) をかけると、資源量 (B_t) となる。

ここで、各年の漁獲係数 (F_t) は、漁期中間で漁獲されると仮定した場合、式3で示される。つまり、計算される各年の漁獲係数 (F_t) も、資源量を推定する際に用いた比例定数 (q) によって変化する (C_t は t 年における漁獲個体数)。

$$F_t = -\ln \left(1 - \frac{C_t \cdot e^{\frac{1}{2}M}}{qU_t} \right) \quad (3)$$

各年の漁獲量は、木所ら (2003) および森 (2006) による月別、海域別の漁獲量から算定した秋季発生系群の漁獲量 (Table 8) を用い、平均体重 (280 g) とし

て、漁獲個体数を計算した。この計算方法による秋季発生系群の年別漁獲量は Table 8 に示した。

資源量推定に用いる比例定数 (q) は、式 3 によって計算される漁獲係数 (F_t) の平均値 (1979~2000年) が1979~2000年の平均的な漁獲係数 (F^*) と同じになる値 (式 4) として算出し、式 2 により資源量を推定した。

$$F^* = \frac{\sum F_t}{n} \quad (4)$$

($t = 1979 \sim 2000, n=22$)

なお、平均的な漁獲係数 (F^*) は、次節の方法で推定した1979~2000年の平均的な全減少係数 (Z^*) から、

仮定値として与えた自然死亡係数 ($M=0.6$) を差し引いて計算した。

全減少係数の推定方法 1979~2000年の調査船調査結果 (6月1日~11月30日) を用いて、調査船 CPUE の減少係数から1979~2000年の平均的な全減少係数 (Z^*) を推定した。ただし、年による資源水準の違いを取り除くため、減少係数の推定には、式 5 で示す各年月日における調査船の CPUE の値 ($u_{d,y}$) を、各年の CPUE の平均値 ($u_{avg,y}$) で割った CPUE の相対値 (u_d) を用いた。

$$u_d = \frac{u_{d,y}}{u_{avg,y}} \quad (5)$$

CPUE の相対値 (u_d) は 7 月までは増加したが、8

Table 8. Annual landings (ton) of the Japanese common squid autumn spawning stock by Japanese and South Korean fisheries

	Japan	South Korea	Total
1979	172,093	17,725	189,818
1980	177,468	37,469	214,936
1981	137,370	29,962	167,332
1982	130,154	38,360	168,514
1983	135,995	25,908	161,902
1984	113,995	25,017	139,012
1985	104,906	30,548	135,454
1986	53,881	23,265	77,145
1987	137,339	43,580	180,919
1988	113,237	31,915	145,151
1989	145,139	41,767	186,906
1990	134,417	45,462	179,879
1991	128,444	66,914	195,357
1992	157,680	72,712	230,392
1993	150,624	131,471	282,095
1994	134,160	128,597	262,757
1995	126,606	125,558	252,164
1996	178,127	139,259	317,385
1997	138,812	138,714	277,525
1998	106,549	102,992	209,541
1999	138,947	170,980	309,926
2000	109,611	152,677	262,287
2001	122,491	146,033	268,524
2002	142,097	150,286	292,383
2003	121,056	161,075	282,131
2004	89,695	131,476	221,171
2005	102,394	123,152	225,546
2006	90,527	128,124	218,651

月下旬以降（加入後50日以降）は減少傾向となっていた（Fig. 34）。一方、資料に用いた調査結果の平均外套背長（ x_d ）は、 u_d が増加した7月までは大きくなったが、8月以降は23 cmでほぼ一定であった。そこで、スルメイカの獲られやすさ（ f_d ）を、平均外套背長（ x_d ）と式6で示される関係（指数関係）にあると仮定した。すると、CPUEの相対値（ u_d ）の変化は、各日の平均外套背長の関数で示され、スルメイカの獲られやすさ（ f_d ）と全減少係数（ Z ）によって、式7で示される。

$$f_d = \alpha \cdot e^{\beta x_d} \quad (6)$$

$$u_d = f_d \cdot e^{-Z \cdot d} = \alpha \cdot e^{(\beta x_d - Z \cdot d)} \quad (7)$$

全減少係数を含む式7の各パラメータは、推定値と実際の観測値の偏差の自乗が最小となるように推定した。

再生産関係の推定 推定した資源量と漁獲量から式8で産卵親魚量を計算し、再生産関係を推定した。再生産関係はBeverton, Holt型の再生産関係式（Beverton and Holt, 1957）を用いた。

$$S_t = N_t \cdot e^{-M_t - F_t} \quad (8)$$

ここで、 F_t は漁獲係数、 M_t は自然死亡係数であり、自然死亡係数 M_t は資源量に関係なく0.6として計算した。

再生産関係式は、CRSによってスルメイカの再生産関係が中長期的に変化することを想定し、88/89CRS以前（寒冷期）の1979～1989年、および88/89CRS以降（温暖期）として、1990年から2007年のデータをもとに推定した。

CRSは88年と89年を境に起きたとされ、第3章で示したように、産卵回遊経路の変化が89年に見られた。また、12月に生まれたスルメイカの資源増加は翌90年に見られたことから、88/89CRSによる89年の産卵回遊経路の変化および産卵時期の変化が、89年の産卵群～90年の加入群に影響を与えたと推定し、90年の加入群から再生産力が変化すると判断して期間を区分した。なお、88/89CRS以降において、環境の一時的な悪化によって資源が大きく減少したと考えられる1998年（木所ら, 2003）の値は除いて、再生産関係を算定した。

再生産関係は誤差が対数正規分布に従うとして、観

測値／期待値の対数の2乗和が最小になるように係数 a 、 b を求めた。

$$N_t = \frac{a \cdot S_{t-1}}{1 + b \cdot S_{t-1}} \cdot e^\varepsilon \quad (9)$$

持続生産量の推定 再生産関係をもとに資源特性値（MSY, F_{msy} , B_{msy} ）を算出して、寒冷期と温暖期の変化を調べた。親魚数（ S_t ）は資源個体数と式8で推定した漁獲係数から下記の様に求めた。なお、漁獲量（ Y ）は下記のように漁期の中で漁獲されるとして計算すると、

$$Y = N \cdot e^{(-M/2)} (1 - e^{-F}) \cdot w \quad (10)$$

となり、定常状態における漁獲量（＝持続生産量）は下記で計算される（中村, 2006）。

$$Y = N \cdot e^{(-M/2)} - \frac{N \cdot e^{(M/2)}}{(a - bN)} \cdot w \quad (11)$$

また、 F_{msy} は再生産関係式のパラメータから下記の様に計算され、

$$F_{msy} = \frac{\ln(a) - M}{2} \quad (12)$$

その時の資源個体数は、

$$N_{msy} = \frac{a - \sqrt{a \cdot e^M}}{b} \quad (13)$$

である（中村2006）。

仮定値の感度分析 推定結果の頑健性を検討するため、資源量を推定する際に用いた仮定値（自然死亡係数）が与える推定結果への影響を感度分析より検討した。自然死亡係数は、 $F^* = Z - M$ および式3、式4から、資源量推定に用いた比例定数 q 値に影響を与える他、産卵親魚量を計算する際にも用いており、再生産間液や持続生産量の推定にも影響を与えることが予想される。感度分析には、漁期間の自然死亡係数（漁期間計）を0.15～0.9まで変化させ、資源量および持続生産量の変化を調べた。

結 果

全減少係数 調査船CPUEの相対値の変化および式7を用いた推定結果をFig. 34に示した。調査船CPUEの相対値は6月から7月にかけて増加した

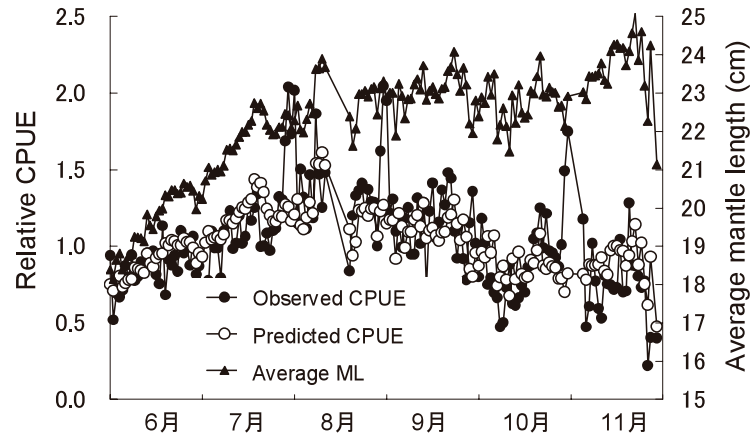


Fig. 34. Daily change in the average relative CPUE obtained by experimental jigging surveys in the Sea of Japan in 1979–2000. The relative CPUE was calculated as CPUE divided by the average CPUE of the year. In this figure, daily change in average mantle length is also shown.

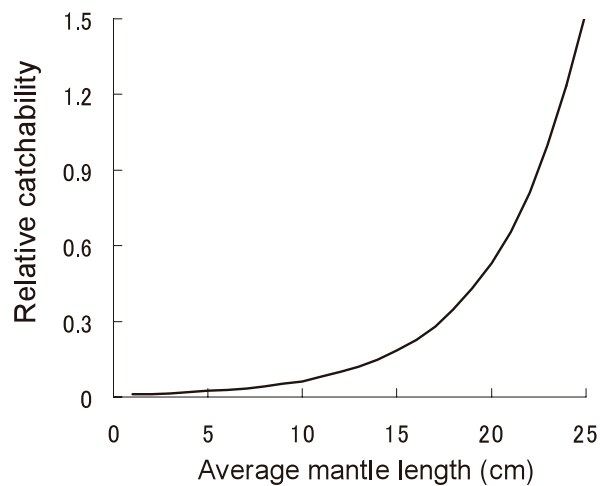


Fig. 35. Relationship between relative catchability and average mean mantle length. Relative catchability is shown as the proportion from that of 23 cm (=1.0)

が、8月以降減少した。推定結果も観測値と同様に6月～7月に増加した後、8月以降は減少しており、観測された調査船CPUEの相対値の変化をうまく再現していた。式7における各パラメータは、 $a = 0.0153$ 、 $\beta = 0.212$ 、 $z = 0.00582$ と推定された。

推定されたパラメータ a と β を用いると、平均外套背長が15 cmの日時のスルメイカの漁獲されやすさは、平均外套背長が23 cmの日時のスルメイカの約20%程度と計算される (Fig. 35)。全減少係数 Z は、仮定した漁期間 (180日) を用いると、全漁期間で Z^*

$= 1.047$ となる。この値から仮定した自然死亡係数 ($M = 0.6$) を差し引くと、1979年から2000年の平均的な漁獲係数 (F^*) は $F^* = 0.4474$ となり、式3および式4から $q = 2.908 \times 10^8$ と推定された。

資源量 推定した比例係数 $q = 2.908 \times 10^8$ をもとに、式2から計算したスルメイカ秋季発生系群の資源量を Fig. 36に示す。推定結果では、スルメイカ秋季発生系群の推定資源個体数は、1980年代前半は減少傾向にあり、1980年代は主に20億個体 (50万トン) 前後 (1981～1989年の資源量の平均値は18.3億個体、51.2

万トン)、1986年には8.0億個体(22.4万トン)であった。1980年代後半は増加傾向となり、1990年代の平均資源個体数は38.8億個体(108.7万トン)、2000年前後には主に60~70億個体(150万~200万トン)となった。2000年以降は再び減少傾向となり、2007年の資源個体数は32.5億個体(91.0万トン)と推定された。

資源量を推定した期間の漁獲率(=漁獲個体数/資源個体数)は、1980年代に資源量の減少とともに上昇し、1980年代半ばには35~40%となった(Fig. 36)。しかし、その後は資源量の増加とともに減少し、1990年代は30%以下、近年は20%前後であった(Fig. 36)。

推定した資源尾数と漁獲尾数から、式8を用いて算出した産卵親魚数をFig. 37に示した。親魚尾数も資源量と同様に1980年代前半は低水準・減少傾向(平均6.0億個体、16.9万トン)であったが、1980年代後半以降は増加に転じ、2000年前後は30億個体(80万トン)

前後となった。近年は減少し、15億個体(40万トン前後)と計算された。

再生産関係および持続生産量 推定した資源量と産卵資源量を用いて、B-H型の再生産関係をモデルにスルメイカの再生産関係を推定した(Fig. 38)。その結果、1980年代のパラメータは $a=6.90$ 、 $b=0.201$ 、1990年代のパラメータは $a=7.66$ 、 $b=0.104$ と推定された。この再生産関係のパラメータを用いると、1980年代の資源尾数および漁獲係数における持続生産量はFig. 39の通りに計算された。寒冷期では持続生産量が資源尾数は16.71億尾の時に最大値(16.85万トン)、温暖期では資源尾数が40.11億尾の時に最大値(37.74万トン)になると推定された(Fig. 39)

漁獲係数との関係で見ると、寒冷期では $F_{msy}=0.666$ ($F_{msy,80}$)で漁獲した場合、最大の持続生産量が得られ、温暖期では $F_{msy}=0.718$ ($F_{msy,90}$)で漁獲した場合に最

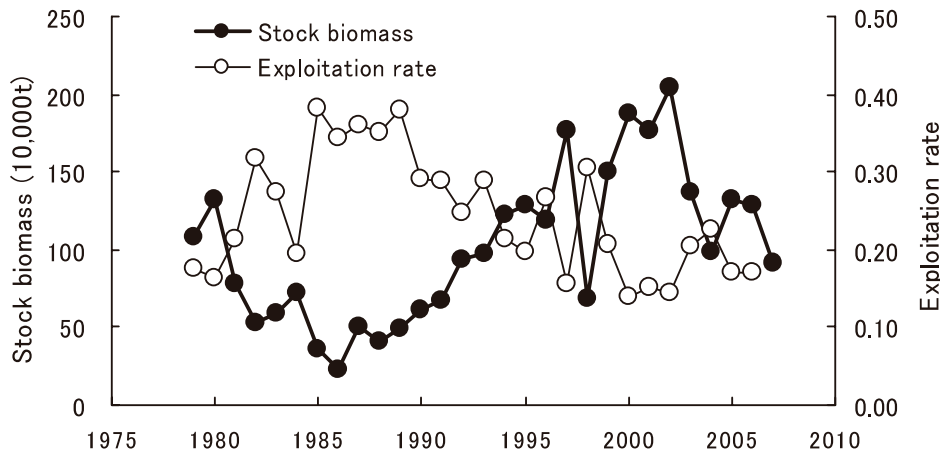


Fig. 36. Estimated stock biomass and exploitation rate of Japanese common squid in the Sea of Japan (autumn spawning stock) in 1979-2007.

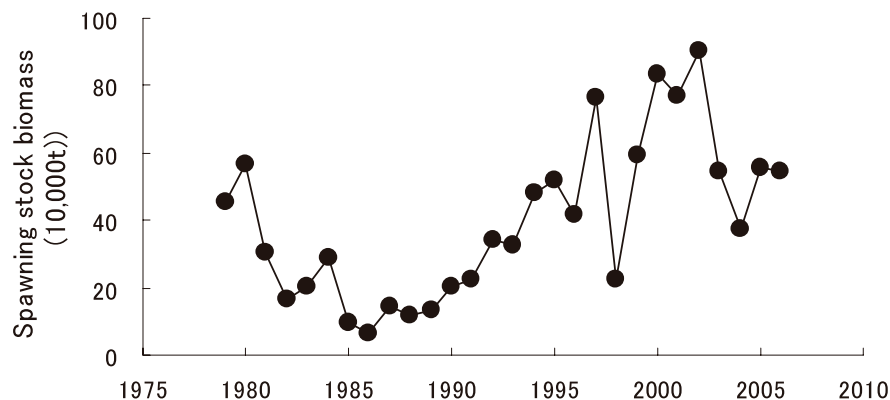


Fig. 37. Estimated spawning stock biomass of Japanese common squid in the Sea of Japan (autumn spawning stock) in 1979-2007.

大の持続生産量が得られると推定された (Fig. 40)。
 以上のように、1980年代と1990年代の持続生産量の比率は、2.38倍であり、その際の資源尾数は2.26倍となった。つまり、Beverton-Holt 型の再生産関係にあはめて推定すると、スルメイカ秋季発生系群におい

て、1990年代は1980年代と比較して平均的に約2倍の持続生産量であったと推定された。

仮定値の推定結果への影響 仮定値として用いた自然死亡係数 (M) を変化させた場合に推定される資源量の平均値および最大持続生産量を Table 9 に示し

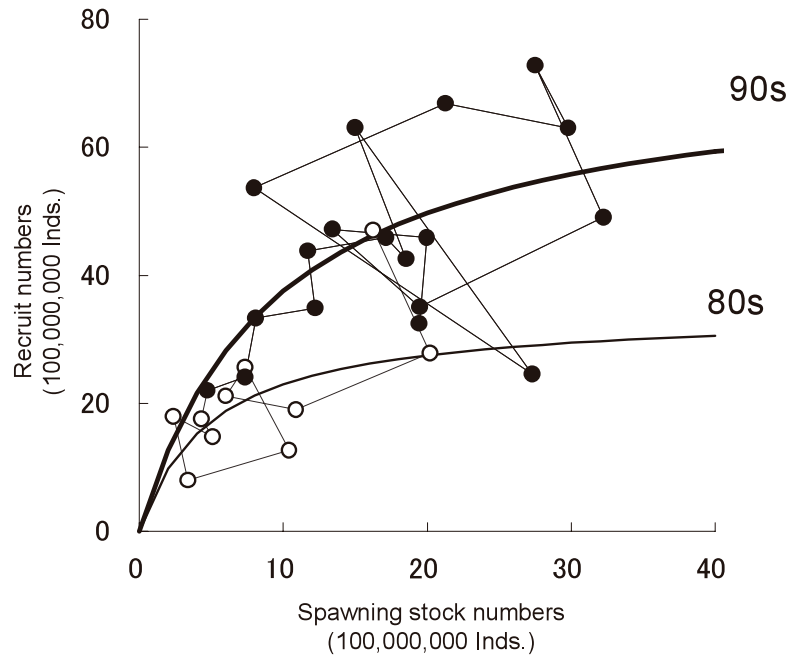


Fig. 38. Spawner-recruit relationships for Japanese common squid in the Sea of Japan (autumn spawning stock). Spawner-recruit curves were fitted to the Beverton-Holt model. (○) represent relationships in 1979-1989 and (●) represent those in 1990-2007.

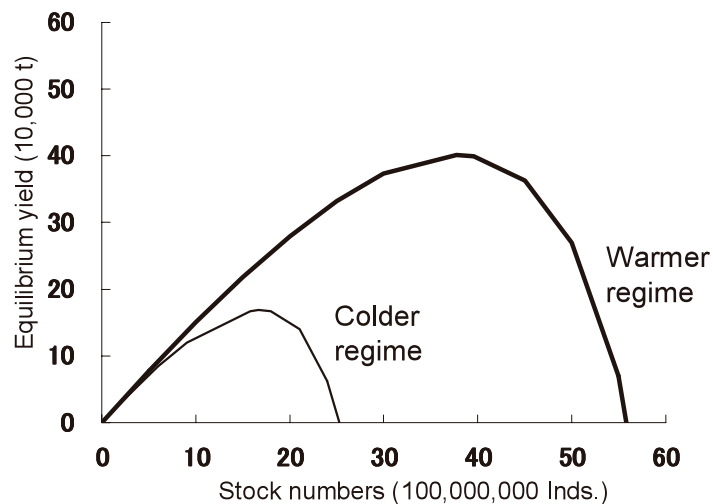


Fig. 39. Relationships between sustainable production and numbers of stock individuals for the Japanese common squid autumn spawning stock. Sustainable production was considered to have been changed by climatic regime shift, and examined those in a warmer regime and a colder regime respectively.

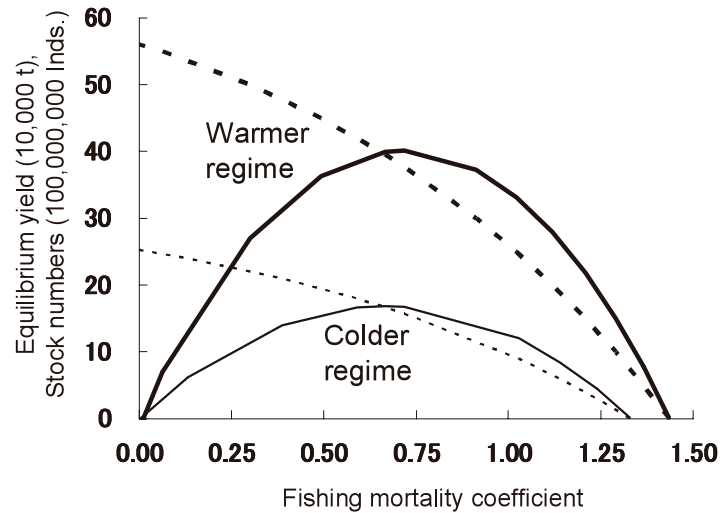


Fig. 40. Relationships between sustainable production and fishing mortality coefficient values and between equilibrium stock numbers and fishing mortality coefficient values for the Japanese common squid autumn spawning stock. Sustainable production was considered to have been changed by climatic regime shift, and examined for a warmer regime and a colder regime respectively.

Table 9. Changes in the estimated stock abundance, exploitation rate and parameters of the spawner-recruitment curve (Beverton and Holt model) with the change in supposed natural mortality coefficient (M)

Temperature condition	M	Average stock abundance (10,000 ton)	Average exploitation rate (%)	Parameters of spawner-recruit relationship		MSY (10,000 ton)	Bmsy (10,000 ton)	Fmsy
				a	b			
Cold regime (1979-1988)	0.90	154.3	0.10	5.47	0.05	23.2	39.5	0.40
	0.85	115.4	0.13	5.67	0.06	20.4	31.2	0.44
	0.80	92.2	0.16	5.88	0.09	18.9	26.2	0.49
	0.75	76.8	0.20	6.11	0.11	18.0	22.7	0.53
	0.70	65.8	0.23	6.36	0.14	17.4	20.2	0.57
	0.60	51.2	0.30	6.90	0.20	16.9	16.7	0.67
	0.45	38.5	0.39	7.89	0.32	16.7	13.5	0.81
	0.30	30.9	0.49	9.14	0.49	16.9	11.4	0.96
	0.15	25.8	0.59	10.77	0.73	17.3	9.9	1.11
Warm regime (1989-2007)	0.90	305.5	0.08	6.19	0.02	65.9	99.9	0.46
	0.85	228.5	0.11	6.40	0.03	55.7	77.0	0.50
	0.80	182.6	0.14	6.62	0.04	49.8	63.1	0.55
	0.75	152.1	0.16	6.86	0.06	46.0	53.8	0.59
	0.70	130.4	0.19	7.11	0.07	43.4	47.0	0.63
	0.60	101.5	0.25	7.66	0.10	40.1	37.7	0.72
	0.45	76.2	0.33	8.65	0.17	37.7	29.3	0.85
	0.30	61.1	0.41	9.93	0.26	36.6	24.1	1.00
	0.15	51.0	0.49	11.77	0.40	36.4	20.4	1.16

た。仮定した自然死亡係数 (0.15~0.9) によって算定される資源量は変化し、 $M=0.15$ の場合は寒冷期の平均資源量は25.8万トン、温暖期の平均資源量は51.0万トンであった。 $M=0.90$ の場合、寒冷期の平均資源量は154.3万トン、温暖期の平均資源量は305.5万トンとなり、仮定した自然死亡係数によって大きく異なった。

MSY は、 $M=0.15$ の場合、寒冷期は17.3万トン、温暖期は36.4万トンであった。 $M=0.90$ の場合、寒冷期は23.2万トン、温暖期は65.9万トンであった。資源量と比べ、仮定したM値による影響は小さかった。傾向として、自然死亡係数が大きいほど資源量およびMSYは小さく推定された。また、寒冷期と温暖期の比率(温暖期/寒冷期)をみると、 $M=0.15$ の場合、温暖期のMSYは寒冷期の2.11倍であり、 $M=0.90$ の場合は2.83倍であり、仮定した自然死亡係数が大きいほど、MSYの寒冷期と温暖期の比率は高くなったが、大きな影響は見られなかった。

F_{msy} も自然死亡係数によって変化した。寒冷期、温暖期とも $M=0.15$ の場合は $F_{msy}=0.11$ と0.16、 $M=0.90$ の場合は $F_{msy}=0.40$ と0.46であり、仮定したM値が高いほど F_{msy} は低くなった。しかし、どのM値によって推定された F_{msy} も、寒冷期と温暖期で大きな違いは見られなかった。

考 察

本章では、調査船による試験操業結果から求めた資源量指数に、比例係数をかけて資源量を計算した。したがって、資源量指数が資源量を的確に示しているかが、スルメイカの資源量の変化を捉える上で重要となる。これまで、スルメイカの資源状況の把握は、漁況予報を主目的として実施され、その際にスルメイカの漁場一斉調査結果から得られた結果を主要な情報として実施されてきた。その結果、日本海における漁場一斉調査から得られた情報は、資源量を的確に示す指標値として漁況および漁獲量の予報に有用であることが示されており(笠原, 1977; 1987)、信頼性の高い指標値と判断される。また、調査船による試験操業結果は、漁船情報に依存していないため、スルメイカ漁業の長期的な漁場や操業形態の変化の影響を受けにくい利点がある。

資源量推定に用いた比例定数は、スルメイカの減少係数をもとに推定した。ここで、スルメイカの減少係数は、スルメイカの漁獲されやすさが各日時の平均外套背長との関数であることを仮定し、調査船CPUEの相対値の変化から求めた。この際に推定されたス

ルメイカの漁獲されやすさと平均外套背長との関係では、平均外套背長23 cmの時のスルメイカは、平均外套背長15 cmの時のスルメイカと比較して、獲られやすさが約10倍と計算され、かなり高い値であった。

鷹見(1993)は、スルメイカの試験操業では外套背長10 cm以下のスルメイカはほとんど採集されないと報告しているが、スルメイカの外套背長と漁獲効率の関係に関する研究例は少なく、判断することは困難である。成長によってイカ釣り針への反応も変化するとと思われるが、スルメイカは外套背長15 cm程度から漁獲されており、Fig. 35で示されるほどスルメイカの漁獲効率に差が生じることは想定しにくい。したがって、本研究におけるスルメイカの獲られやすさ(f_d)は、個体の成長に伴う漁獲されやすさよりも、各平均外套背長時におけるスルメイカ秋季発生群の加入率をより大きく反映した結果であると考えられる。つまり、スルメイカ秋季発生系群は7月下旬までは死亡率よりも加入率の方が上回っており、発生時期の遅い個体が次々と加入するとともに調査船のCPUEも上昇していく。しかし、8月以降はほとんどの個体が漁獲対象となり、自然死亡と漁獲死亡により減少し、調査船のCPUEが低下していくことが想定される。

本研究では、1979~2007年のスルメイカ秋季発生系群の資源量の経年変化を推定した。日本海におけるスルメイカの資源量は、すでにOkutani(1977)や笠原(1980)によって1970年代におけるスルメイカの推定が試みられている。しかし、これらの資源量を推定した期間と本研究で推定した期間には重複した年がない。そこで、ともに資源水準が高かったとされる1970年代前半と2000年前後の資源量の推定結果をもとに、それぞれの推定手法の特徴を比較して、それぞれに推定された資源量の違いの検討を試みる。

除去法を用いたOkutani(1977)の推定結果では、日本海沖合域に分布する秋生まれ群の1972~1974年の資源尾数は15億~19億尾と推定されている。また、笠原(1980)は、日本海沖合域の漁獲量をもとにコホート計算で推定した日本海沖合に分布する秋生まれ群の資源尾数を推定している。その結果では、資源水準が高かった1970年前半における6月の資源尾数は20億尾前後と推定している。これらの推定値は、本章で求めた秋季発生系群の資源尾数よりも小さい値である。

Okutani(1977)や笠原(1980)の資源尾数の推定結果が本章の推定結果より著しく少なくなった要因には、対象とした群の違いがある。Okutani(1977)や笠原(1980)では、解析の資料とした漁獲量は、日本海沖合域で漁獲されるスルメイカのみであり、対象とした資源は日本海沖合の分布群のみと推察される。こ

れらは、本章で取り扱った秋季発生系群よりも分布域および発生時期的にかなり限定される群である。また、Okutani (1977) の除去法では自然死亡が考慮されていないため、推定結果が過小評価になっている。さらに、笠原 (1980) によるコホート計算の際に用いた自然死亡係数は月当たり0.03であり、本章の推定に用いた月当たり0.1と比較して小さい。ここで、笠原 (1980) の計算に本章と同様に $M=0.1$ を用いて再計算した場合、1970年代前半の資源尾数は25億~30億個体となり、推定資源量は笠原 (1980) の報告よりも多く算出される。

笠原 (1980) と本研究では、推定の対象とした群が異なっているが、第3章の外套背長階級別の組成より、資源水準の高かった1990年代以降の秋季発生系群に占める沖合群 (外套背長21 cm以上の個体と仮定) の割合は50%程度と見積られる。したがって、この割合から秋季発生系群における沖合群の資源個体数を推定すると、資源水準の高かった1990年代後半から2000年代前半においては20億~30億個体となる。つまり、自然死亡係数を月当たり0.1とした場合、資源水準が高かった時期の資源個体数は、笠原 (1980) と同様な推定結果となる。以上のように、Okutani (1977) や笠原 (1980) と本研究の推定結果の違いの背景には、計算の対象とした群の違いと、仮定した自然死亡係数の違いが影響していると判断される。

スルメイカの自然死亡係数は、これまで標識放流調査やバイオマス解析等で推定が試みられているが、信頼性の高い結果は得られていない。一方、スルメイカの近縁種であるアルゼンイレックス (*Illex argentinus*) では、週あたり0.06、月当たり0.26の自然死亡係数を資源計算に用いている (Basson *et al.*, 1990)。この値は、笠原 (1980) や本研究における仮定値と比較して大きな値であり、この値を採用した場合、Okutani (1977) や笠原 (1980) による推定結果はさらに大きな値となる。したがって、スルメイカの資源量の推定には自然死亡係数が大きく影響を与え、資源量推定精度の向上には不可欠である。このように、資源量の推定結果には自然死亡係数の不確実性が大きく影響する。しかし、仮定値の推定結果への影響で検討したように、自然死亡係数の不確実性が与える影響は、資源量と比較して持続生産量への影響は比較的小さくなっており、より頑健な値であると判断される。

本研究では、寒冷期と温暖期では再生産関係が異なることを想定して、Beverton-Holt型の再生産関係式を推定し、MSYおよび B_{msy} で約2倍の違いが見られることを示した。また、管理基準値の目安となる F_{msy} にも違いが見られた。しかし、1980年代の再生産

関係を仮定して $F_{msy,90}$ で漁獲した場合、持続生産量は16.75万トン (99%)、資源尾数は15.77億尾 (94%) で平衡状態に達し、 $F_{msy,80}$ で漁獲した場合に達成されるMSYおよび B_{msy} とほとんど差がない。同様に、1990年代の再生産関係を仮定して、 $F_{msy,80}$ で漁獲した場合、持続生産量は39.90万トン (99%)、資源尾数は39.56億尾 (105%) で平衡状態に達し、こちらも $F_{msy,90}$ で漁獲した場合とほとんど影響がない。このことは、寒冷期と温暖期では資源管理の基準となる漁獲係数を変えるメリットはほとんどないことを示しており、努力量で管理する場合、CRSによる再生産関係の変化の影響を考慮する必要性は低いと考える。ただし、得られる平均漁獲量には約2倍の差が生じることになる。

土井、川上 (1979)、安達 (1988) および Murata (1989) では、スルメイカの資源水準の回復には努力量の削減 (概ね40~50%程度の削減) が必要であると提言していたが、海洋環境による再生産力の変化が資源水準を変化させる主要因であった場合、資源の回復には、海洋環境の変化を待つことが重要であると判断される。ただし、本研究の解析結果でも示されるように、スルメイカの資源が低下すると漁獲率が增大する傾向があり、海洋環境が不適な期間は過剰漁獲の状態に陥り易い傾向がある。その結果、産卵親魚量を適正な水準以下に低下させると、海洋環境が変化した場合でも資源回復を遅らせる危険性がある。川崎 (2007) も指摘しているように、海洋環境によって資源量が変化する漁業資源でも、その適切な資源量の変動様式の維持には、資源水準の変化に影響されない漁獲努力量の適正水準の維持が求められる。

第4章 総合考察

本研究では、これまで問題点が多く指摘されてきた日本海におけるスルメイカの資源構造を再検討し、CRSによってスルメイカの資源構造および生態的特性がどのように変化するかを明らかにすることを試みた。その結果、日本海では、これまでの季節発生別群よりも小さい単位で、発生時期や成長が異なる複数の群に区分されることが明らかとなった。また、本研究で区分した発生時期や、分布回遊、成長を異にする各群の、CRSによる応答特性を検討した。その結果、発生時期や分布域によってCRSによる応答が異なることが示された。加えて、日本海におけるスルメイカ (秋季発生系群) の資源量はCRSによって大きく変化し、持続生産量もCRSによって2倍程度変化することを推定した。

本章では、以上の本研究で得られた結果をもとに、CRSによるスルメイカの資源変動特性を纏める。さらに、CRSによる生態的特性の変化を用いた資源動向予測を把握する手法を検討するとともに、適正なスルメイカ資源の利用および資源管理方策への提言を纏める。

CRS に対する応答特性と変動機構 1980年代から1990年代にかけての、日本海におけるスルメイカの分布状況、および外套背長範囲別の資源量指数の変化を調べた結果、CRSに対する応答特性として、前年の12月に生まれたと推定される群が北海道周辺海域において著しく増加したが、前年の10~11月に生まれたと推定される沖合に分布する群の増加は明瞭でなかった。加えて、日本海の沖合ではCRSによって回遊経路が大きく変化すること、および資源が減少した1980年代は、資源が増加した1990年代よりも南下時期が1ヶ月ほど早く、主産卵時期の変化も示唆された。

以上の結果から、日本海におけるスルメイカのCRSによる資源変動機構は、次のようなことが想定される。まず、CRSによって海洋環境が寒冷化すると、産卵回遊経路が変化するとともに主な産卵時期および幼生の発生時期は、10月を中心に山陰沿岸域に縮小し、道北域を中心に資源量は減少する。逆に、CRSによって海洋環境が温暖化すると、産卵回遊経路が変化するとともに主な産卵時期と幼生の発生時期は10~12月に長くなり、その産卵場も対馬海峡まで拡大し、道北域を中心に資源量は増加する。そして、これらの再生産海域の拡大と再生産時期の拡大に伴う資源構造の変化が、1980年代から1990年代に日本海で見られたスルメイカの産卵場の変化、および資源量の増大を引き起こす要因になったと考える。

次に、太平洋側の冬季発生系群も含めてスルメイカ資源全体のCRSに対する応答については、以下のように考えられる。基本的に、秋季(10~12月)に生まれたスルメイカは主に日本海に分布し、冬季(1~3月)に生まれた冬に生まれたスルメイカは主に太平洋に分布する。しかし、CRSによって海洋環境が寒冷化すると、1970年代以降に見られたように、太平洋における冬季発生系群が崩壊し(村田, 新谷, 1977; 新谷, 1987)、前年の10月に生まれた日本海に分布するスルメイカが中心となる。また、CRSによって海洋環境が温暖化すると、88/89CRS以降に見られたように、日本海における主発生時期が10~12月と長くなり、産卵場も対馬海峡まで拡大し、さらに東シナ海にも産卵場が形成される(森, 2006)。その結果、太平洋側の冬季発生系群の資源量も大きく増加したと考える。つまり、寒冷期においては、日本海に分布する秋に生

まれた群を中心とした資源構造であるが、温暖期においては、日本海と太平洋に分布する秋から冬に生まれた群を中心とした資源構造に変化する。

以上の変化の背景には、対馬暖流の輸送環境の変化(暖水渦による取り込み)による12月生まれのスルメイカの生残率の変化(渡邊ら, 2007)、および東シナ海における産卵場形成条件の変化(Sakurai *et al.*, 2000)が影響していると判断される。CRSによるスルメイカ全体として資源量および資源構造の変化を整理すると、スルメイカの資源変動特性として、Fig. 41で示されるシナリオが想定される。このシナリオをもとにすると、CRSによって発生時期の秋への縮小に伴う資源構造の変化、スルメイカの回遊経路の変化および産卵場の変化、太平洋側における資源水準の低下が想定され、このような生態的变化が見られた場合は、スルメイカの資源動向が中長期的な時間スケールで大きく変化すると予測される。

アカイカ類の資源変動に及ぼす海洋環境の影響として、カナダイレックス *Illex illecebrosus* (Dawe *et al.*, 2000) では、主にGulf Streamによる輸送環境の変化が幼生の生残に影響を与え、Gulf Streamによる暖水域への取り込みが良好な幼生の生残および加入量の増加に繋がると報告されている。特に、太平洋側のスルメイカ資源(冬季発生系群)およびカナダイレックスのように、大規模な海流系に依存した生活史をもつ個体群は、変動幅が大きい傾向がある(O'Dor and Lipinski, 1998)。また、アルゼンチンイレックスでは、産卵場の水温環境が、翌年の加入量と関係することが指摘されている(Waluda *et al.*, 1999; 2001)。スルメイカでも、輸送環境(渡邊ら, 2007)や産卵場の環境変化(Sakurai *et al.*, 2000)による影響が示されており、基本的には同じ要因で資源量が変動すると考えられる。しかし、イカ類は単年生であることから、カナダイレックスやアルゼンチンイレックスの報告(Waluda *et al.*, 1999; 2001; Dawe *et al.*, 2000)は、年による海洋環境(水温や海流)の変化が与える加入量への影響に焦点が当てられているものの、CRSとの関係は言及されていない。

CRSによって海洋環境は、温暖期と寒冷期が周期的に交互に移行する(Minobe, 1997; Mantua, 2004)。したがって、年々の加入量に影響を与える海流の流動、暖水渦の形成、および産卵場付近の水温環境も、寒冷期または温暖期に持続的に出現するか、出現する頻度が高くなる。CRSによる海洋環境の変化は、イカ類の加入量に好適または不適な環境要因が10年単位、もしくは数10年単位で持続的に出現、または出現する頻度が高くなることを意味する。つまり、

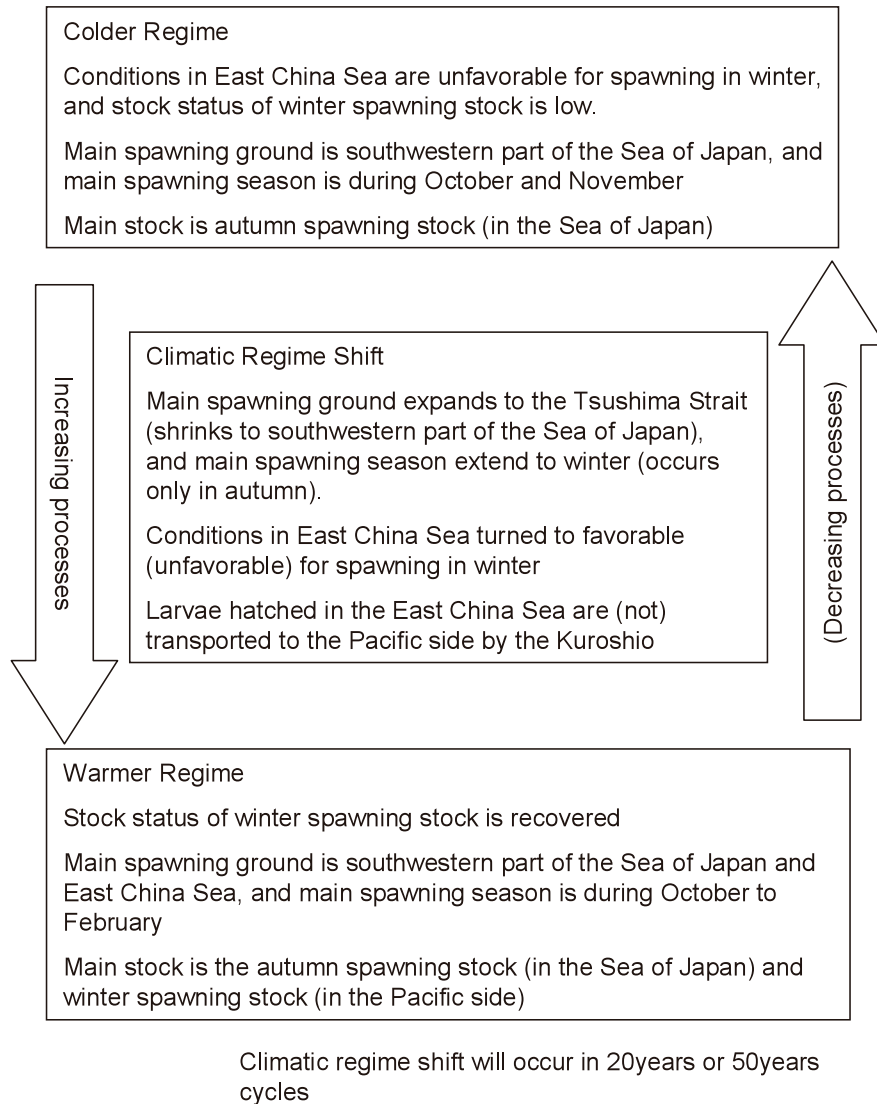


Fig. 41. Schematic diagram of the hypothesis on the process of changing stock size of Japanese common squid.

CRS による変化は、年々の海洋環境の変化による影響が蓄積した結果と見ることもできる。

スルメイカの CRS による応答を以上のように整理したが、CRS による資源変動は、スルメイカだけではなく、マイワシをはじめとした小型浮魚類をはじめ、大型魚食性魚類から底魚資源まで、生態系ベースで変化する (Beaugrand, 2004 ; Tian *et al.*, 2006 ; Zhang *et al.*, 2006 ; Sakurai, 2007)。したがって、それぞれ他の魚種の CRS による応答が、スルメイカの資源量変動に影響を及ぼすことも予想される。特に、日本周辺海域ではマイワシが時として大発生的に増加することから、その影響が考えられる。

漁獲統計資料 (農林水産省統計部, 2006) をもとに、日本全国のマイワシの漁獲量とスルメイカの漁獲量の変化を Fig. 42 に示した。マイワシの漁獲量はスルメイカが減少した1970年代半ばより増加したのに対し、スルメイカが増加し始める1990年代半ばより減少しており、中長期的にはそれぞれ逆の変動を示している。ただし、マイワシの漁獲量が100万トン以下の水準の年代 (1950年から1976年および1994年以降) では、マイワシとスルメイカの漁獲量の間には相関関係が認められず、マイワシとスルメイカの関係は明らかでない (Fig. 43)。一方、マイワシが大発生し、漁獲量が100万トン以上に増加した1976年から1994年では、マ

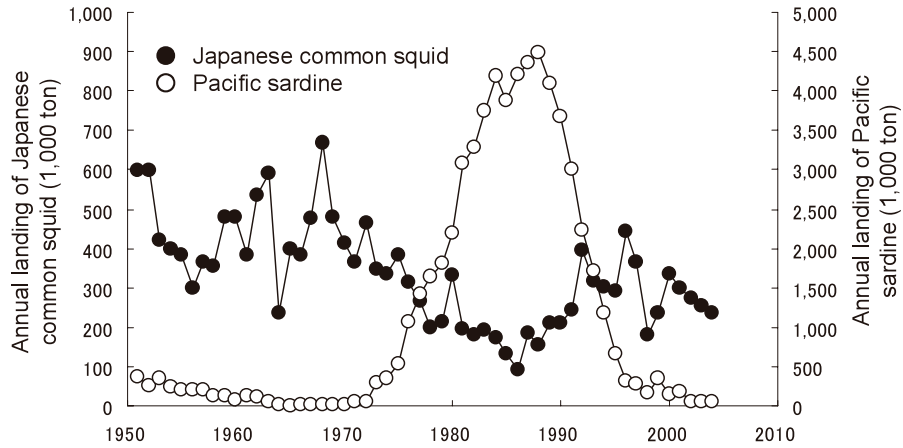


Fig. 42. Annual landing of Pacific sardine and Japanese common squid by Japanese fisheries.

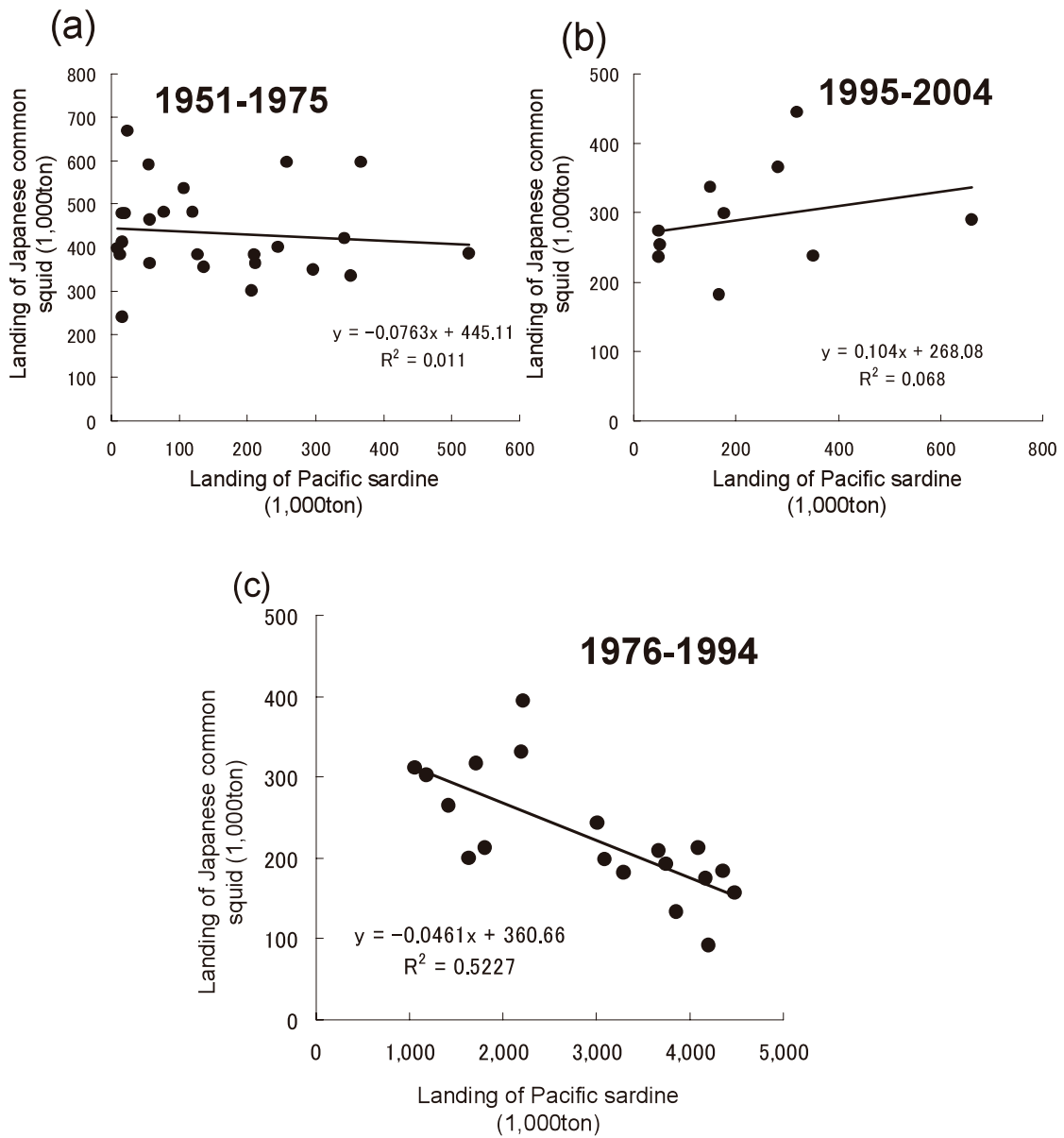


Fig. 43. Relationships between the annual landing of Pacific sardine and annual landing of Japanese common squid by Japanese fisheries. No significant relationships were seen in (a) 1951-1975 and (b) 1995-2004 in which the annual landing of Pacific sardine was less than 1 million tons, however a significant relationship was seen in (c) 1976-1994 in which the annual landing of Pacific sardine was above 1 million tons.

イワシの漁獲量が多いほどスルメイカの漁獲量が減少する負の相関関係が認められる (Fig. 43, $p < 0.01$)。このことは、マイワシの資源水準が低い時期には、スルメイカはマイワシの影響をほとんど受けないが、マイワシの資源水準が増大するとスルメイカの資源に負の影響を与えることが示唆される。つまり、CRS による影響として、単一魚種的な応答に加え、他魚種の CRS に対する応答の結果として現れる資源変動の影響も同時に受けることを示している。

これまで、主要浮魚類 (マイワシ、カタクチイワシ、マサバ) を中心に魚種交代の多様な仮説が提示されているものの、スルメイカを含めた魚種交代仮説は提示されていない (桜井, 2007a)。しかし、漁獲量の変化でも明らかなように、スルメイカの資源変動を主要浮魚類の魚種交代に含めて検討することが、CRS に対する応答を生態系的視野で捉えるには、重要であると考える。また、CRS によるスルメイカの資源動向判断および予測には、本研究で示したスルメイカの生態的特性の変化に加え、マイワシをはじめとする他の浮魚類の資源動向および生態的特性の変化も合わせて判断することで、よりの確かな判断が可能になると考える。

資源管理方策への提言 1998年以降、日本では TAC による資源管理がスルメイカに導入された。すでにアカイカ類の TAC による管理は、1970年代にカナダイレックス *Illex illecebrosus* の漁獲量の急速な増大によって1974年に導入された (Lange and Sissenwine, 1983; O'Dor and Dawe, 1998)。しかし、カナダイレックスの漁獲量は、1979年に17万6千トンに達した後に急速に減少し、TAC 管理導入後は数年で資源が崩壊した (Lange and Sissenwine, 1983)。資源が崩壊し、漁獲量が年間1万トン前後のレベルに落ち込んだ後も、カナダイレックスの TAC は15万トンに設定されたままであり、実際的な管理は行われていない。

カナダイレックスの資源が崩壊した1980年代以降は、アルゼンチンイレックス *Illex argentinus* の漁獲量が急速に増加した。アルゼンチンイレックスでは、カナダイレックスとは異なり、TAC による管理ではなく、漁期中の努力量規制による管理がアルゼンチンおよび英国フォークランド政府共同で実施されている (Haimovici *et al.*, 1998; 酒井, 2002)。アルゼンチンイレックスの管理手法では、除去法 (Leslie and Davis, 1939; DeLury, 1947) をもとに漁期中の資源量の変化が漁船の CPUE によってモニタリングされ、取り残し資源量が、漁獲がない場合に想定される値の40% (40% SPR) に達したときに漁獲を終了するシステムが採用された (Beddington *et al.*, 1990)。さらに、

資源量が少ないときの保護措置として、上記の管理基準に加え、逃避量の最低値 (4万トン) も設定されている (Basson *et al.*, 1996; 酒井, 2002)。

アルゼンチンイレックスに導入された管理システムは、TAC による管理方策よりもイカ類資源の管理には望ましいと考えられ (Caddy 1983)、当時、最も優れたイカ類の管理システムとして評価された (Pierce and Guerra 1994)。そして、この管理システムを用いて、アルゼンチンイレックスの漁獲量は1990年代にかけて50万トン以上の水準が維持され、管理が成功したかのように見えた。しかし、2000年以降のアルゼンチンイレックスの資源量は、大きく減少し、2004年の資源量は最低水準に落ち込んだ (酒井, 2006)。2000年以降にアルゼンチンイレックスの漁獲量および資源量が大きく変動した要因として、管理基準値 (40% SPR) を上回る漁獲努力が継続され (酒井, 2002)、過剰漁獲が頻繁に行われた実態もあるように思われる。しかし主要因としては、アルゼンチンイレックスの加入量は、産卵海域の海洋環境が関係していることから (Waluda *et al.*, 2001)、産卵海域の海洋環境の変化が考えられる。

アルゼンチンイレックスの事例でも明らかなように、漁獲制御による資源管理手法を用いてアカイカ類の資源量を安定的に保つことはかなり困難であり、年々の海洋環境の変化によって加入量及び漁獲量は大きく変動する。また、カナダイレックスやスルメイカ冬季発生系群で観察された通り、海洋環境の中長期的な変化によって、資源が中長期的にわたり崩壊した状況が続くことも予想される。したがって、適切な努力量による資源管理が実施された場合でも、CRS による海洋環境の変化によってスルメイカの漁獲量は、年々の加入量の変化に加え、中長期的なスケールで水準が大きく変化することが予想される。本研究の結果では、スルメイカ秋季発生系群の MSY は CRS によって2倍程度変化すると推定され、漁獲量の平均値も温暖期と寒冷期では2倍程度変化することが予想される。よって、スルメイカの資源を適正に利用するには、本研究で示した生態的变化を用いて資源動向を把握するとともに、海洋環境に合った生産量を利用する体勢にシフトしていくことが必要と考える。

適切な資源管理および利用方策を検討するには、資源がどのように利用されているかを把握する必要がある。1970~1980年代は、太平洋側の冬季発生系群の資源崩壊による漁場消失によって、日本海がスルメイカの主漁場となった (村田, 新谷, 1977; 新谷, 1987)。その後、1990年代以降は冬季発生系群の資源回復とともに太平洋側の漁場も復活した。そこ

で、漁獲量の増加過程における主漁場の変化として、Fig. 44に1980年代以降の日本漁船による日本海および太平洋側の漁獲量、韓国漁船による漁獲量の変化を示す。

日本漁船による日本海の漁獲量は、1980年代前半は減少し、1986年には6万4千トンとなった。1987年には14万6千トンに回復し、その後は概ね10万トンから15万トンで推移した。太平洋の漁獲量は、1980年代半ばまで1980年を除き、1万～3万トンの低い水準であった。しかし、1989年に5万トンに増加した後、1992年に19万トンに急速に増加し、1998年と1999年を除き、10万～27万トンで推移した。韓国の漁獲量は、1980年代は5万トン前後であったが、1990年代以降、特に1993年以降急速に増加し、その後も20万トン前後の水準を維持している。

1980年代以降の漁獲量の変化で示されるように、1970年代から1980年代まで日本海がスルメイカの漁場の中心であった。しかし、88/89CRSによってスルメイカ資源が増加すると、日本漁船による太平洋側の漁獲量は大きく増大した。ところが、日本漁船による日本海での漁獲量の増加はほとんど見られない。一方、韓国の漁獲量は急速に増加し、日本漁船の利用率が低下した日本海（特に沖合）のスルメイカ資源を韓国の漁船が漁獲している。つまり、日本漁船によるスルメイカ資源の利用特性として、太平洋側の資源量が多い時期は太平洋側のスルメイカ資源を中心に漁獲し、日本海のスルメイカ資源の利用率は低い。しかし、CRS

等によって太平洋側の資源が大きく減少した場合、太平洋側の代替資源として日本海のスルメイカ資源を中心に利用するように変化する。つまり、資源減少期には、日本海におけるスルメイカ資源の利用率が高くなる危険性がうかがえる。

また、韓国の1990年代前半の漁獲量の急速な増加には、トロール漁業の参入による漁獲量の急増がある(NFRDI (2000))。資源管理において最も困難な課題は、資源の増加とともに拡大した漁業資本および漁獲努力の削減であり、新たな漁業の参入および資本の投入は、資源管理を一層困難にする(Ludwig *et al.*, 1993; Clark, 2006)。加えて、第3章の結果で示した様に、CRSによって寒冷化するとスルメイカの回遊経路が変化し、日本海沖合域に分布していたスルメイカが韓国東沖および対馬海峡付近に来遊しなくなることが予想される。その場合、現在の韓国トロール船によるスルメイカ漁場が消失し、他の海域（例えば日本沿岸域）への漁獲努力の転換が危惧される。

先に推察したスルメイカのCRSに対する応答特性から、寒冷期には太平洋側の冬季発生系群の資源量が日本海よりも先に減少することが想定される。そのため、今後も、寒冷期においては日本海のスルメイカ資源に漁獲努力が集中し、利用率が高くなることが予想される。しかし、日本海のスルメイカ資源は、寒冷期に資源が減少した際に、スルメイカ資源を維持するために重要な海域であることが指摘されており(桜井, 2007b)、本研究で整理したCRSに対するスルメイカ

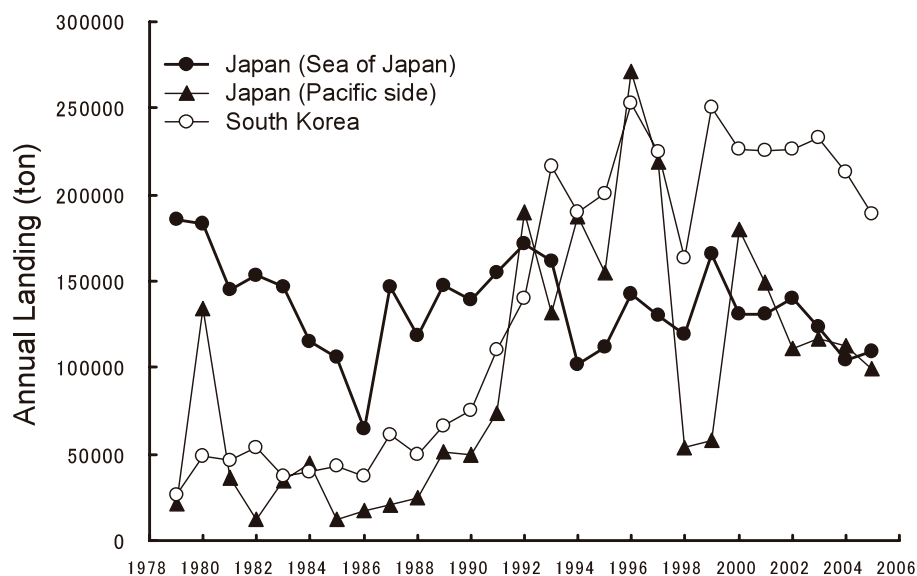


Fig. 44. Trends in the annual landings of Japanese common squid by the Japanese fisheries (● in the Sea of Japan ▲ in the Pacific side) and South Korean Fisheries (○).

資源の応答特性からも寒冷期（低水準期）における重要性が類推できる。したがって、日本海のスルメイカの過剰漁獲による資源減少は、スルメイカ資源全体を考える上でも望ましくない。

アルゼンチンイレックスでは産卵親魚と翌年の加入量の関係は不明瞭である（Basson *et al.*, 1996）が、スルメイカでは産卵親魚量と翌年の加入量の間には正の相関関係が見られる（森, 2006）。つまり、年々の海洋環境の変化による影響があるものの、産卵親魚量が少ないと翌年の加入量は減少する傾向がある。このことから、スルメイカでは過剰な漁獲によって産卵親魚量が適正水準以下に低下すると、CRSによって海洋環境が好転した場合でも、資源が速やかに回復しない危険性を含んでいる。したがって、今後のスルメイカの適切な利用および管理方策を検討する際の要点として、特に太平洋側の冬季発生系群が崩壊すると予想される寒冷期において、日本海のスルメイカに対する漁獲努力を適正水準の範囲内に抑えて利用していく必要性を提言する。

謝 辞

本論文を纏めるにあたり、終始ご指導を頂いた北海道大学大学院の桜井泰憲教授、ならびに本論文のご校閲を頂いた同大学院の帰山雅秀教授、綿貫 豊准教授、松石隆准教授に感謝申し上げます。

スルメイカの研究に携わる機会を与えていただいた水産工学研究所の長谷川誠三室長、水産研究所に入所以来、研究指導いただいた日本海区水産研究所の後藤常夫主任研究員、北海道区水産研究所の森 賢室長、日頃の業務にかかわらず、研究を支援して頂いた日本海区水産研究所の木下貴裕室長、田永軍主任研究員に感謝申し上げます。また、水産研究所および道府県各試験研究機関の多くの方々から、スルメイカの資源研究を通じて、これまで多くの助言、支援を頂いた。ここに感謝申し上げます。

本研究で用いた資料には、これまで各道府県の試験研究機関および水産研究所が長年にわたって調査し、蓄積されたデータが多く含まれている。これまで日本海のスルメイカ資源調査に携わって頂いた数多くの方々々に感謝申し上げます。特に山形県立加茂水産高校所属の鳥海丸の本間船長をはじめとする乗組員の方々には、15年間にわたり多大な協力を頂いた。また、本研究には、水産庁の委託事業である資源評価調査で得られた資料を多く使用させて頂いた。なお、日本海におけるスルメイカ資源の調査体制の維持、発展には元日本海区水産研究所の故笠原昭吾氏の尽力に負うところ

が大きい。

最後に、双子（京介、由佳）の出産育児に加え、生活を支えてくれた妻の百恵に感謝する。

文 献

- 安達二期, 1988: 日本海西部海域におけるスルメイカ, *Todarodes pacificus* Steenstrup, の漁業生物学的研究. 島根県水産試験場研究報告, 5: 1-93.
- 新谷久男, 1967: スルメイカの資源. 水産研究叢書, 日本水産資源保護協会, 16: 1-66.
- 新谷久男, 1972: 北部日本海沖合域におけるスルメイカの特性と漁場形成について. 水産海洋研究, 21: 44-48.
- 新谷久男, 1987: 日本のイカ漁業と資源. 水産技術と経営, 33: 16-30.
- 新谷久男, 石井 正, 1972: 北海道周辺海域におけるスルメイカの系統群, スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究. 農林水産技術会議事務局, 192-205.
- Basson, M., Beddington, J.R., Crombie, J.A. Holden, S.J., Purchase, L.V. and Tingrey, G.A., 1996: Assessment and management techniques for migratory annual squid stocks: the *Illex argentinus* fishery in the southwest Atlantic as an example. *Fish. Res.*, 28: 3-27.
- Beamish, R.J., McFarlane, G.A. and King J.R., 2000: Fisheries climatology: understanding decadal scale processes that natural regulate British Columbia fish population. *In* Fisheries Oceanography. An integrative approach to fisheries ecology and management, eds. by Harrison P.J. and Parsons T.R, Blackwell Science, 94-139.
- Beaugrand G., 2004: The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. *Prog. Oceanogr.*, 60: 245-262.
- Beddington J.R., Rosenberg A.A., Crombie J.A., Kirkwood G.P., 1990: Stock assessment and the provision of management advice for the short fin squid fishery in Falkland Islands waters. *Fish. Res.*, 8: 351-365.
- Beverton R.J.H., Holt S.J., 1957: On the dynamics of exploited fish populations. Fisheries Investment Series 2, Vo.16. U.K. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
- Bower J.R. and Miyahara k., 2005: The diamond

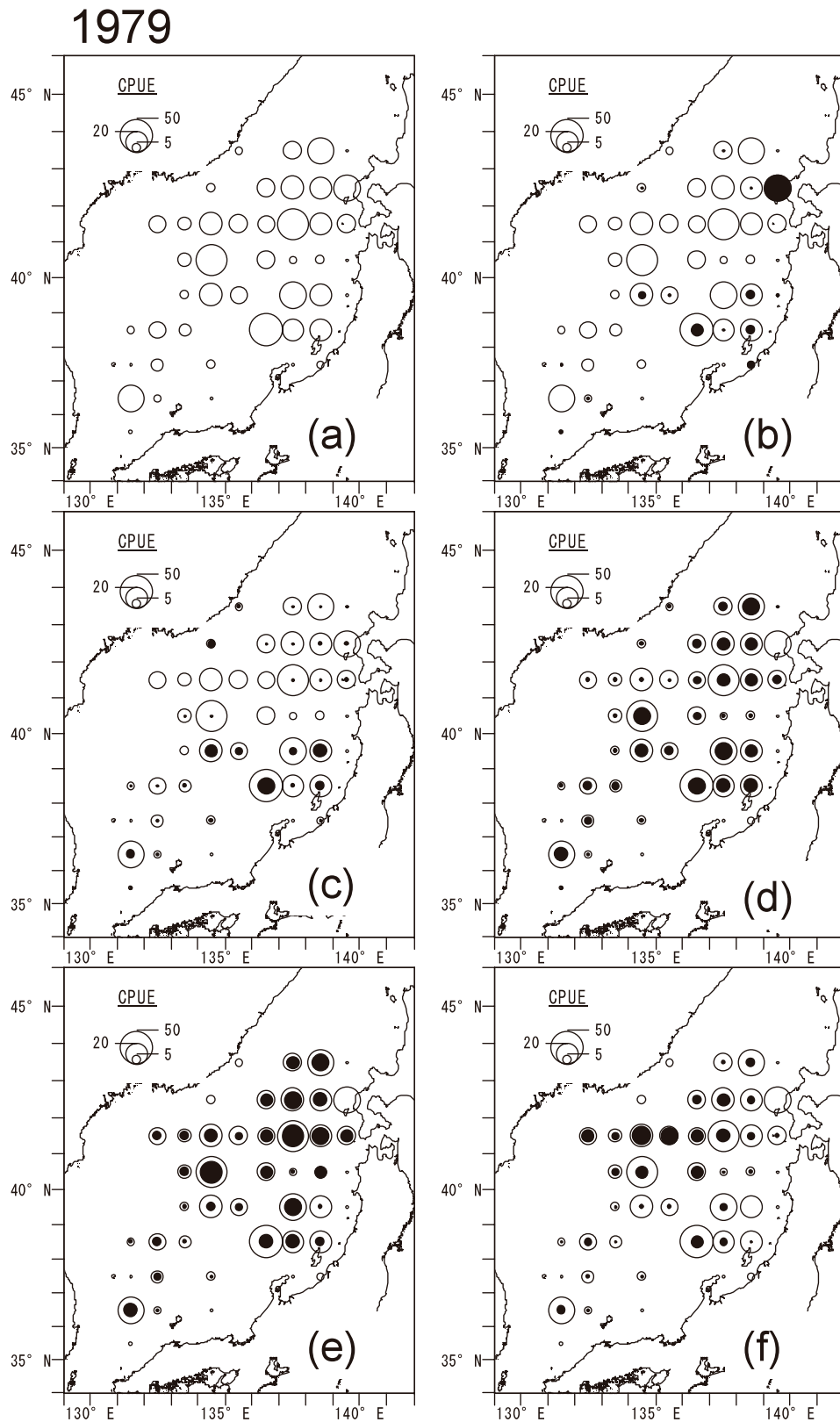
- squid (*Thysanoteuthis rhombus*): A review of the fishery and recent research in Japan. *Fish. Res.*, **73** : 1-11.
- Boyle P. and Rodhouse P., 2005 : Cephalopods, ecology and fisheries. Blackwell Science, 452pp.
- Caddy J.F., 1983 : Cephalopods: Factor relevant to their population dynamics and to the assessment and management of stocks. *In* Advances in assessment of world cephalopod resources, ed. by Caddy J.F., FAO Fisheries Technical Paper No. 231, FAO, Rome, 416-452.
- Caddy J.F., 1996 : Modeling natural mortality with age in short-lived invertebrate populations: definition of a strategy of gnomonic time division. *Aquat. Living Resour.*, **9** : 197-207.
- 崔 淑珍, 1997 : 小型イカ釣り漁船の光力適正化に関する研究. 東京水産大学学位論文, 292pp.
- Clark C.W., 2006 : The worldwide crisis in fisheries. Cambridge university press, 263pp.
- Cushing D.H., 1981 : Fisheries biology, a study in population dynamics. The university of Wisconsin press, 295pp.
- Dawe E.G., Colbourne E.B., Drinkwater K.F., 2000 : Environmental effects on recruitment of short-finned squid (*Illex illecebrosus*). *ICES J. Mar. Sci.*, **57** : 1002-1013.
- DeLury D.B., 1947 : On the estimation of biological populations. *Biometrics*, **3** : 145-167.
- 土井長之, 川上武彦, 1979 : 日本近海産スルメイカの生物生産と漁業の管理. 東海区水研報告, **99** : 65-83.
- 藤井康之, 広瀬直毅, 渡邊達郎, 木所英昭, 2004 : 日本海におけるスルメイカ卵稚仔の輸送シミュレーション. *海と空*, **80** : 1-17
- Gilly W.F., Markaida U., Bavter C.H., Block B.A., Boustany A., Zeidberg L., Reisenbicher K., Robinson B., Bazzino G. and Salinas C., 2006 : Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigus* revealed by electronic tagging. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **324** : 1-17.
- Goto, T., 2002 : Paralarval distribution of the ommastrephid squid *Todarodes pacificus* during fall in the southern Sea of Japan and its implication for locating spawning grounds. *Bull. Mar. Sci.*, **71** : 299-312.
- Haimovici M., Brunetti N.E., Rodhouse P.G., Csirke J., Leta R.H., 1998 : *Illex argentinus* *In* Squid recruitment dynamics, The genus *Illex* as a model, the commercial *Illex* species and influence on variability. Rodhouse, eds. By P.G., Dawe E.G., O'Dor R.K. FAO Fisheries Technical Paper No. 376, FAO, Rome, 27-58.
- 浜部基次, 清水虎雄, 1966 : 日本海西南海域を主としたスルメイカの生態学的研究. *日水研報告*, (16), 13-55.
- Hammer C. and Zimmermann C., 2005 : The role of stock identification in formulating fishery management advice. *In* Stock identification methods. Application in fishery science, eds. by Cadrin S.X., Friedland K.D. and Wailman J.R., Elsevier Academic press. 631-658.
- Hare S.R. and Mantua N.J., 2000 : Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Prog. Oceanogr.*, **47** : 103-145.
- 長谷川彰, 1985 : 漁業管理, 恒星社厚生閣, 東京, 236pp.
- Hilborn R. and Walters C.J., 1992 : Quantitative fisheries stock assessment. Chapman and Hall, 570pp.
- Hirota Y. and Hasegawa S., 1999 : The zooplankton biomass in the Sea of Japan. *Fish. Oceanogr.*, **8** : 274-283.
- 池田 謙, 桜井泰憲, 島崎健二, 1991a : 雄スルメイカの成熟に伴う精巣および付属腺の発達. *水誌*, **57** : 2237-2242
- 池田 謙, 桜井泰憲, 島崎健二, 1991b : 雌スルメイカの成熟に伴う卵巣および付属生殖器官の発達. *日水誌*, **57** : 2243-2247.
- 伊東祐方, 沖山宗雄, 笠原昭吾, 1965 : 日本海沖合におけるスルメイカについての2・3の考察. *日水研報告*, **15** : 55-70.
- 婦山雅秀, 2007 : サケ類の生態系ベースの持続的資源管理と長期的な気候変動. 川崎 健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章編, レジーム・シフト —気候変動と生物資源管理—. 成山堂書店, 131-139.
- Kang Y., Kim J., Kim H. and Park J., 2002 : Long-term changes in zooplankton and its relationship with squid, *Todarodes pacificus*, catch in Japan/East Sea. *Fish. Oceanogr.*, **11** : 337-346.
- 笠原昭吾, 1972 : 日本海沖合を中心としたスルメイカの生物特性—分布と移動—. *水産海洋研究*, **21** : 48-58.
- 笠原昭吾, 1977 : スルメイカ秋生まれ群資源の現状と

- 問題点. スルメイカ資源・漁海況検討会議シンポジウム報告. 日水研, 25-38.
- Kasahara S., 1978 : Descriptions of offshore squid angling in the Sea of Japan, with special reference to the distribution of common squid (*Todarodes pacificus* STEENSTRUP); and on the techniques for forecasting fishing conditions. Bull. Japan Sea Reg. Fish. Res. Lab. **28** : 179-199.
- 笠原昭吾, 1980 : スルメイカ資源. 日本水産学会漁業談話会報, **15** : 33-49.
- 笠原昭吾, 1987 : 日本海スルメイカの資源評価と漁況予測. イカ類資源・漁海況検討会議研究報告 (昭和60年度). 日水研, 29-42.
- 笠原昭吾, 伊東祐方, 1968 : 日本海におけるスルメイカ群の移動に関する研究Ⅱ 1966・1967年秋季の沖合分布群の性状とその移動. 日水研報告, **20** : 49-70.
- 加藤源治, 1959 : 生態面からみたスルメイカ系統群の追跡 - I. 日水研年報, **5** : 1-17.
- 加藤源治, 1960 : 生態面からみたスルメイカ系統群の追跡 - II. 日水研年報, **6** : 127-137.
- Katugin O.N. and Mokrin N.M., 2001 : Studies of biochemical-genetic population structure of the common squid (*Todarodes pacificus* Steenstrup, 1880) from the Japan Sea II. Genetic differences between intraspecific seasonal cohorts. Ruthenica, **11** : 57-76.
- 川崎 健, 2007 : レジーム・シフト理論に基づく小型浮魚資源の管理. 川崎 健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章編, レジーム・シフト — 気候変動と生物資源管理 —. 成山堂書店, 101-111.
- Kidokoro H. and Sakurai Y., 2008 : Effect of water temperature on gonadal development and emaciation of Japanese common squid *Todarodes pacificus* (Ommastrephidae). Fish. Sci., **74** : 553-561.
- 木所英昭, 森 賢, 後藤常夫, 木下貴裕, 2003 : 我が国におけるスルメイカの資源評価・管理方策について. 資源管理談話会報, **30** : 18-35.
- 木所英昭, 和田洋藏, 四方崇文, 佐野勝雄, 氏 良介, 1999 : 平衡石の日周輪解析をもとにした1996年の日本海におけるスルメイカの成長. 日水研報告, **49** : 129-135.
- Kiyofuji H., Saitoh S., 2004 : Use of nighttime visible images to detect Japanese common squid *Todarodes pacificus* fishing areas and potential migration routes in the Sea of Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser. **276** : 173-186.
- 小松幸生, 笠井亮秀, 2007 : マアジ卵稚仔魚輸送予測モデルの開発. 海洋, **39** : 550-555.
- 黒田一紀, 1991 : マイワシの初期生活期を中心とする再生産過程に関する研究. 中央水研報告, **3** : 25-278.
- Lange A.M.T., Sissenwine M.P., 1983 : Squid resources of the Northwest Atlantic. In Advances in assessment of world cephalopod resources, ed. By Caddy J.F., FAO Fisheries Technical Paper No. 231, FAO, Rome, 21-54.
- Leslie P.H., Davis D.H.S., 1939 : An attempt to determine the absolute numbers of rats on a given area J. Anim. Ecol., **8** : 94-113.
- Ludwig D, Hilborn R, Walters C., 1993 : Uncertainty, recourse exploitation, and conservation: Lesson from history. Science, **260** : 17.
- 町中 茂, 宮下民部, 宮島英雄, 笠原昭吾, 1980 : 1979年日本海沖合水域におけるスルメイカ標識放流の再捕結果と資源特性値の推定. 石川水試研究報告, **3** : 37-52.
- Mantua N., 2004 : Methods for detecting regime shifts in large marine ecosystems: a review with approaches applied to North Pacific data. Prog. Oceanogr., **60**, 165-182.
- Minobe S., 1997 : A 50-70 Year climate oscillation over the North Pacific and North America. Geophys. Res. Lett. **24** : 683-686.
- Murata M., 1989 : Population assessment, management and fishery forecasting for the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*. In Marine invertebrate fisheries: their assessment and management, ed. by Caddy J.R., John Wiley, 613-636.
- 村田 守, 新谷久男, 1977 : スルメイカ冬生まれ群資源の現状と問題点. スルメイカ資源・漁海況検討会議シンポジウム報告. 日水研, 1-14.
- 村田 守, 小野田豊, 田代征秋, 山岸吉弘, 鈴内孝行, 1973 : 北部日本海沖合域におけるスルメイカの生態学的研究 (1971). 北水研報告, **39** : 1-25.
- 森 賢, 2006 : スルメイカ冬季発生系群の初期生態と資源変動機構に関する研究. 北海道大学審査学位論文, 171pp.
- 森 賢, 中村好和, 2001 : 標識放流から推定したスルメイカ太平洋系群の回遊経路. 北水研報告, **65** : 21-43.
- 森岡泰啓, 1985 : 日本海のプランクトン生物量. 水産

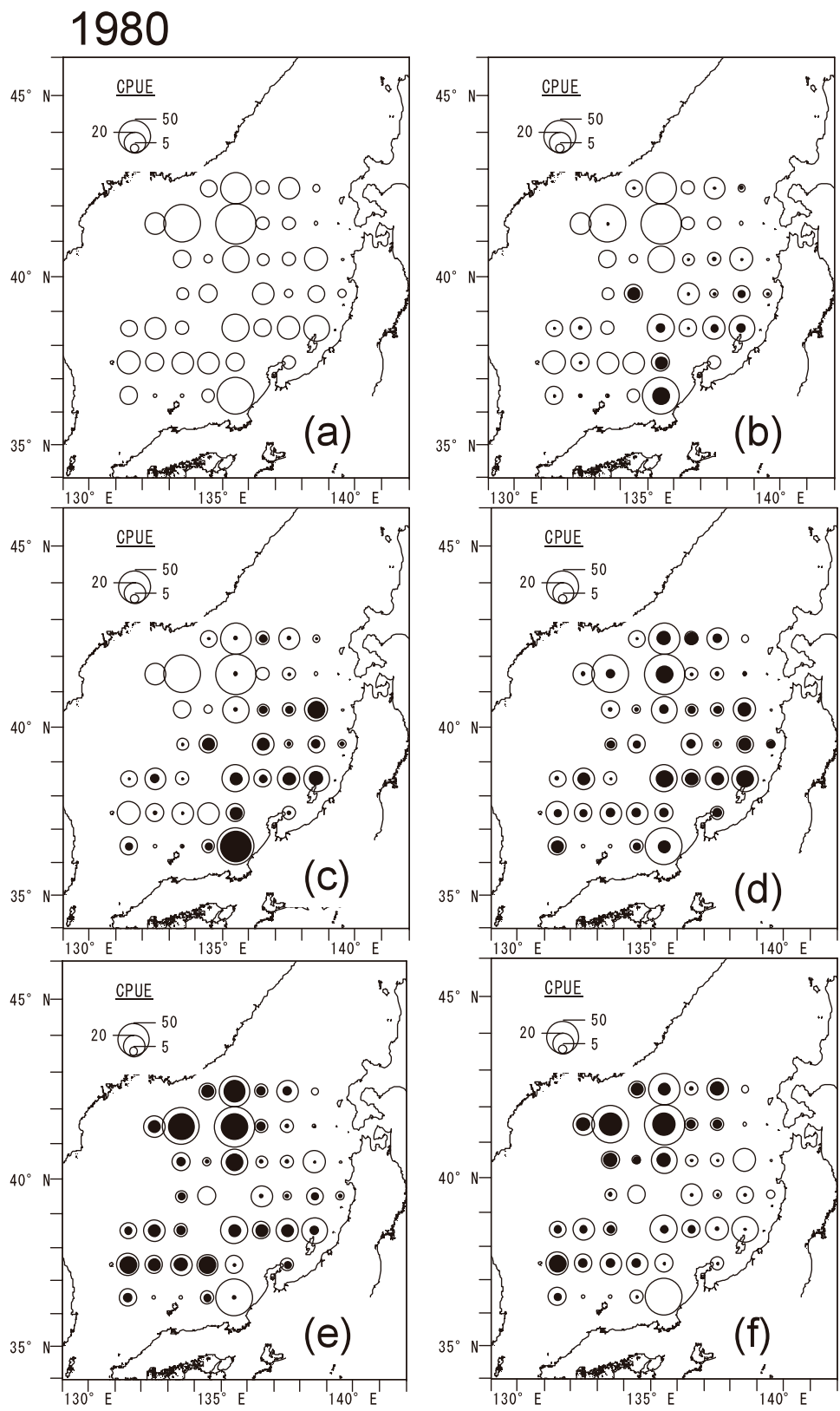
- 海洋研究, 47 : 63-66.
- 長沼光亮, 1967 : 日本海沖合の前線海域におけるカラフトマス, サンマ, スルメイカの漁場形成位置に関する考察. 日水研報告, 18 : 93-107.
- 長沼光亮, 2000 : 生物の生息環境としての日本海. 日水研報告, 50 : 1-42.
- Nagasawa K., Takayanagi S. and Takami T., 1993 : Cephalopod tagging and marking in Japan: a review. *In* Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology, eds. by Okutani T., O'Dor R. K. and Kubodera T., Tokai University Press, Tokyo, 313-329.
- 中村 藍, 2006 : スルメイカを一例としたオペレーティングモデルによる ABC 算定規則の検討. 東京海洋大学修士論文.
- Nakamura Y., 1993 : Vertical and horizontal movements of mature females of *Ommastrephes bartramii* observed by ultrasonic telemetry. *In* Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology, eds. by Okutani T., O'Dor R. K. and Kubodera T., Tokai University Press, Tokyo, 331-336.
- 中村好和, 1996 : 東北・北海道太平洋海域に來遊したスルメイカの資源量推定. イカ類資源・漁海況検討会議研究報告 (平成 6 年度), 7-14, 北水研.
- 中村好和, 森 賢, 1998 : 1996年の道東・南部千島太平洋並びにオホーツク海でのスルメイカとアカイカの分布と回遊. 北水研報告, 62 : 63-82.
- Nakamura, Y. and Sakurai, Y., 1991 : Validation of daily growth increments in statolith of Japanese common squid *Todarodes pacificus*. *Nippon suisan gakkai*, 57 : 2007-2011.
- Nakamura, Y. and Sakurai, Y., 1993 : Age determination from daily growth increments in statolith of some group of the Japanese common squid *Todarodes pacificus*. *In* Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology, eds. by Okutani T., O'Dor R. K. and Kubodera T., Tokai University Press, Tokyo, 3337-342.
- Nakata, J., 1993 : Long-term changes in catch and biological features of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) in waters off the east coast of Hokkaido. *In* Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology, eds. by Okutani T., O'Dor R. K. and Kubodera T., Tokai University Press, Tokyo, 343-350.
- 中田 淳, 1994 : 平衡石日齢査定による道南日本海のスルメイカの発生時期の推定. イカ類資源・漁海況検討会議研究報告 (平成 4 年度). 遠洋水研, 1-11.
- NFRDI, 2000 : Fishing ground and ecology of the important fishery resources of South Korean EEZ. NFRDI, Busan, 317pp (in Korean).
- Noto M. and Yasuda I., 1999 : Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, in relation to sea surface temperature in the Kuroshio Extension. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56 : 973-983.
- 二平 章, 2007 : レジーム・シフトと底魚資源. 川崎健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章編, レジーム・シフト —気候変動と生物資源管理—. 成山堂書店, 157-173.
- O'Dor R.K., 1998 : Can understanding squid life history strategies and recruitment improve management? *South African journal of marine science*, 20 : 1963-206.
- O'Dor R.K. and Dawe E.G., 1998 : *Illex illecebrosus*. *In* Squid recruitment dynamics. The genus *Illex* as a model, the commercial *Illex* species and influence on variability. eds. by Rodhouse P.G., Dawe E.G., O'Dor R.K., FAO Fisheries Technical Paper No. 376, FAO, Rome, 77-104.
- O'Dor R.K. and Lipinski M. R., 1998 : The genus *Illex* (Cephalopoda : Ommastrephidae) : Characteristics, distribution and fisheries. *In* Squid recruitment dynamics. The genus *Illex* as a model, the commercial *Illex* species and influence on variability. eds. by Rodhouse P.G., Dawe E.G., O'Dor R.K., FAO Fisheries Technical Paper No. 376, FAO, Rome, 1-12.
- O'Dor R.K., and Wells M. J., 1987 : Energy and nutrient flow. *In* Cephalopod life cycles II, ed. by Boyle P. R., Academic press, London, 108-133.
- 沖山宗雄, 1965 : 日本海におけるスルメイカ *Todarodes pacificus* (Steenstrup) の食性. 日水研報告, 14 : 31-41.
- Okutani T., 1977 : Stock assessment of cephalopod resources fished by Japan. FAO fisheries technical paper No. 173, FAO, Rome, 62pp.
- Okutani T., 1983 : *Todarodes pacificus*. *In* Cephalopod life cycles I, ed. by Boyle P. R., Academic press, London, 201-214.
- Okutani, T. and Watanabe, T., 1983 : Stock

- assessment by larval survey of the winter population of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae), with a review of early works. *Biol. Oceanog.* **2** : 401-431.
- Pierce G.J. and Guerra A., 1994 : Stock assessment methods used for cephalopod fisheries. *Fish.Res.*, **21** : 255-285.
- Quinn T.J. and Deriso R.B., 1999 : Quantitative fish dynamics. Oxford university press, 542pp.
- 坂口健司, 中田 淳, 2006 : 2001年の北海道北部海域におけるスルメイカの日齢と群構造. *水産海洋研究*, **70** : 16-22.
- 酒井光夫, 2002 : 南西大西洋におけるマツイカの漁海況見通しについて. *全国いか組合報*, **410** : 41-49
- 酒井光夫, 2006 : 海洋丸による2005の若齢マツイカ加入量調査 (アルゼンチン海域) と2006年漁期の特徴. *全国いか組合報*, **459** : 51-61.
- 桜井泰憲, 1998 : 気候変化に伴うスルメイカ資源変動のシナリオ. *海洋*, **30** : 424-435.
- 桜井泰憲, 2007a : レジーム・シフトを含む気候変化にตอบสนองするイカ類の資源変動. 川崎 健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章編, レジーム・シフト —気候変動と生物資源管理—. 成山堂書店, 113-129.
- 桜井泰憲, 2007b : 地球温暖化とスルメイカの未来 —日本海が果たす役割. *水環境学会誌*, **30** : 410-415.
- Sakurai Y., 2007 : An overview of the Oyashio ecosystem. *Deep-Sea Res. II*, **54**, 2526-2542.
- Sakurai Y., Bower J. R., Nakamura, Y., Yamamoto S. and Watanabe K., 1996 : Effect of temperature on development and survival of *Todarodes Pacificus* embryos and paralarvae. *Amer. Malac. Bull.*, **13** : 89-96.
- Sakurai, Y., Kiyofuji, H., Saitoh, S., Goto, T. and Hiyama, Y., 2000 : Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J. Mar. Sci.*, **57** : 24-30.
- 桜井泰憲, 酒井一明, 宮長 幸, 山本 潤, 森 賢, 2005 : 新しい再生産仮説に基づくスルメイカ冬生まれ群の再生産海域の推定. *海洋*, **37** : 586-591.
- 添田潤助, 1950 : 日本沿岸における“するめいか” *Ommastrephes sloani pacificus* (Steenstrup) の回遊に就いて. *北水試研究報告*, **4** : 1-30.
- 鷹見達也, 1993 : スルメイカ漁獲試験の問題点. *イカ類資源・漁海況検討会議研究報告 (平成3年度)*. 日水研, 29-42.
- Takasuka A., Oozeki Y. and Aoki I., 2007 : Optimal growth temperature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **64** : 768-776.
- Tian Y., Kidokoro H. and Watanabe T., 2006 : Long-term changes in the fish community structure from the Tsushima warm current region of the Japan/East Sea with an emphasis on the impact of fishing and climate regime shift over the last four decades. *Prog. Oceanogr.*, **68** : 217-237.
- 魚住雄二, 1993 : 資源研究における平衡石を用いた日齢査定 の効用について. *イカ類資源・漁海況検討会議研究報告 (平成4年度)*, 遠洋水研, 清水市, 22-40.
- 和田時夫, 1988 : 道東海域におけるまき網対象マイワシ資源の来遊動態に関する研究. *北水研報告*, **52** : 1-138.
- Walters C. and Parma A.M. 1996 : Fixed exploitation rate strategies for coping with effect of climate change. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **53** : 148-158.
- Waluda C.M., Trathan P.N. and Rodhouse P.G., 1999 : Influence of oceanographic variability on recruitment in the *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) fishery in the South Atlantic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **183** : 159-167.
- Waluda C.M., Rodhouse P.G., Podesta G.P. and Trathan P.N., 2001 : Surface oceanography of the inferred hatching grounds of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) and influences on recruitment variability. *Mar. Biol.*, **139**, 671-679.
- 渡邊達郎, 清水大輔, 木所英昭, 2007 : レジームシフトに伴う日本海スルメイカ稚仔の輸送・生残過程変動. *水産海洋学会大会講演要旨集 2007年度*, 11p.
- Watanabe Y., Zenitani H. and Kimura R., 1995 : Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **52** : 1609-1616.
- Watanabe Y., Zenitani H. and Kimura R., 1996 : Offshore expansion of spawning of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, and its implication for egg and larval survival. *Can. J.*

- Fish. Aquat. Sci. **53** : 55-61.
- 渡邊良朗, 高橋素光, 2007 : イワシ類の生態とレジーム・シフト. 川崎 健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章編, レジーム・シフト ―気候変動と生物資源管理―. 成山堂書店, 141-155.
- 山本 潤, 2002 : 日本海南西海域におけるスルメイカ秋生まれ群の再生産機構に関する研究. 北海道大学審査学位論文, 111pp.
- 谷津明彦, 2005 : レジームシフトと TAC 対象種の管理. 青木一郎・二平 章・谷津明彦・山川 卓編, レジームシフトと水産資源管理. 恒星社厚生閣, 11-23.
- Yatsu A., Watanabe T., Ishida M., Sugisaki H. and Jacobson L. 2005 : Environmental affects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. Fish. Oceanogr., **14** : 263-278.
- Zenitani H. and Yamada S., 2000 : The relation between spawning area and biomass of Japanese pilchard, *Sardinops melanostictus*, along the Pacific coast of Japan. Fish. Bull., **98** : 842-848.
- Zhang C., Lee J., Seo Y., Yoon S. and Kim S., 2004 : Variations in the abundance of fisheries resources and ecosystem structure in the Japan/East Sea. Prog. Oceanogr., **61** : 245-265.

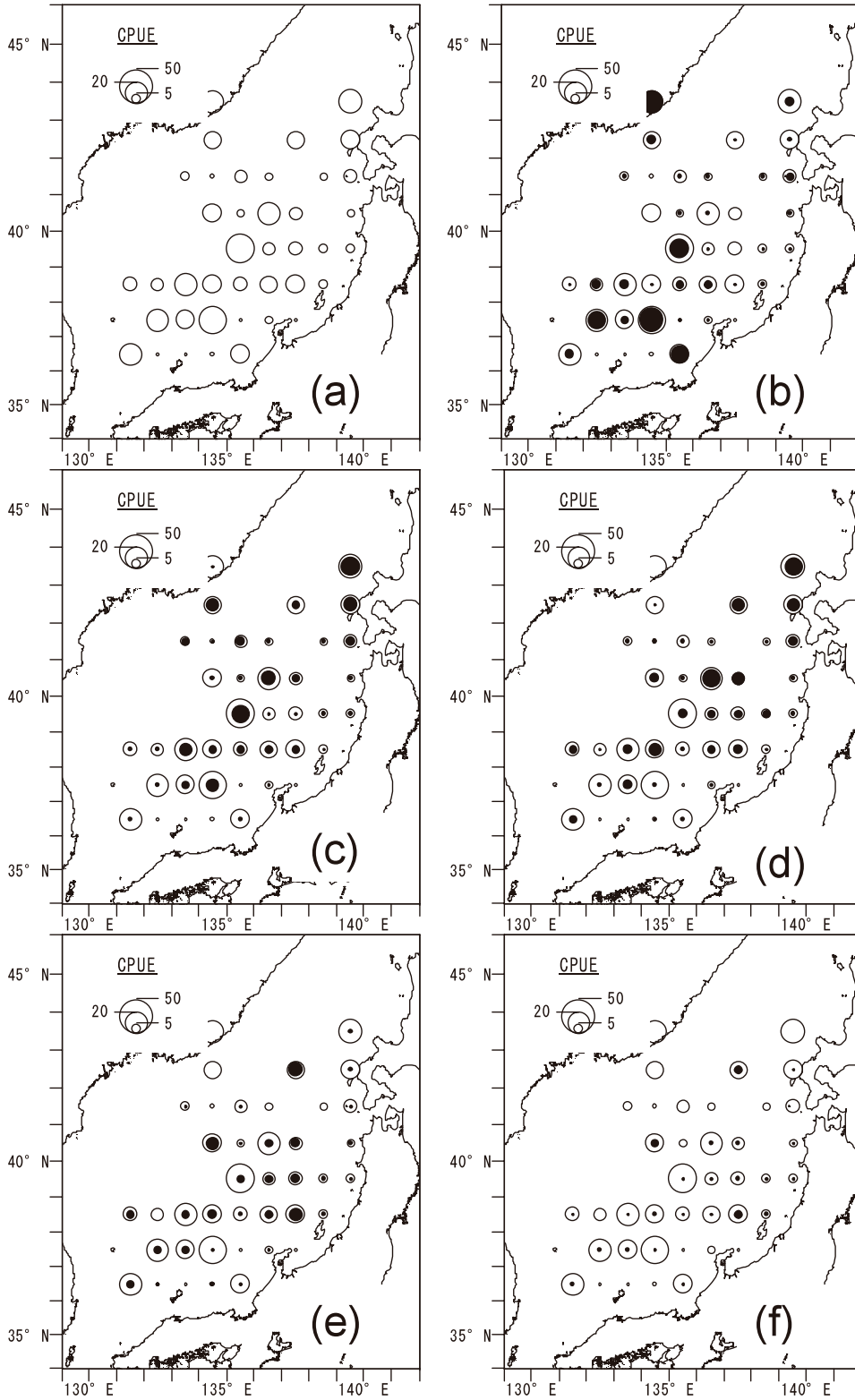


Appendix 1. Distribution map of the CPUE obtained by the experimental jigging survey conducted in June and July in 1979–2007. In these figures, open circles represent CPUE for total mantle length classes, and closed circles represent CPUE of each mantle length class. (a) CPUE for all mantle length class, (b) CPUE for <17 cm mantle length class, (c) CPUE for 17 cm–19 cm mantle length class, (d) CPUE for 19 cm–21 cm mantle length class, (e) CPUE for 21 cm–23 cm mantle length class, (f) CPUE for above 23 cm mantle length class.



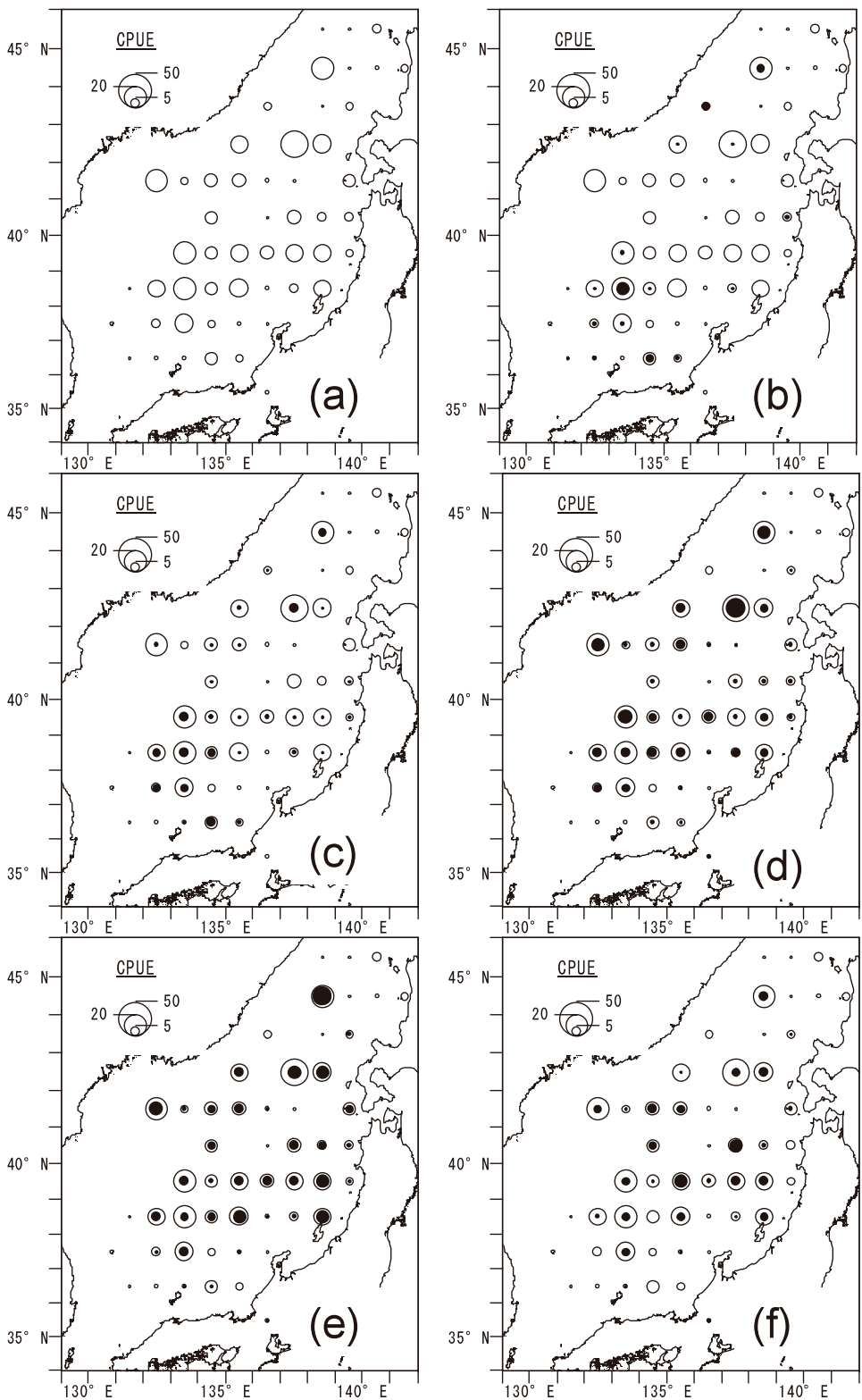
Appendix 1. (continued)

1981



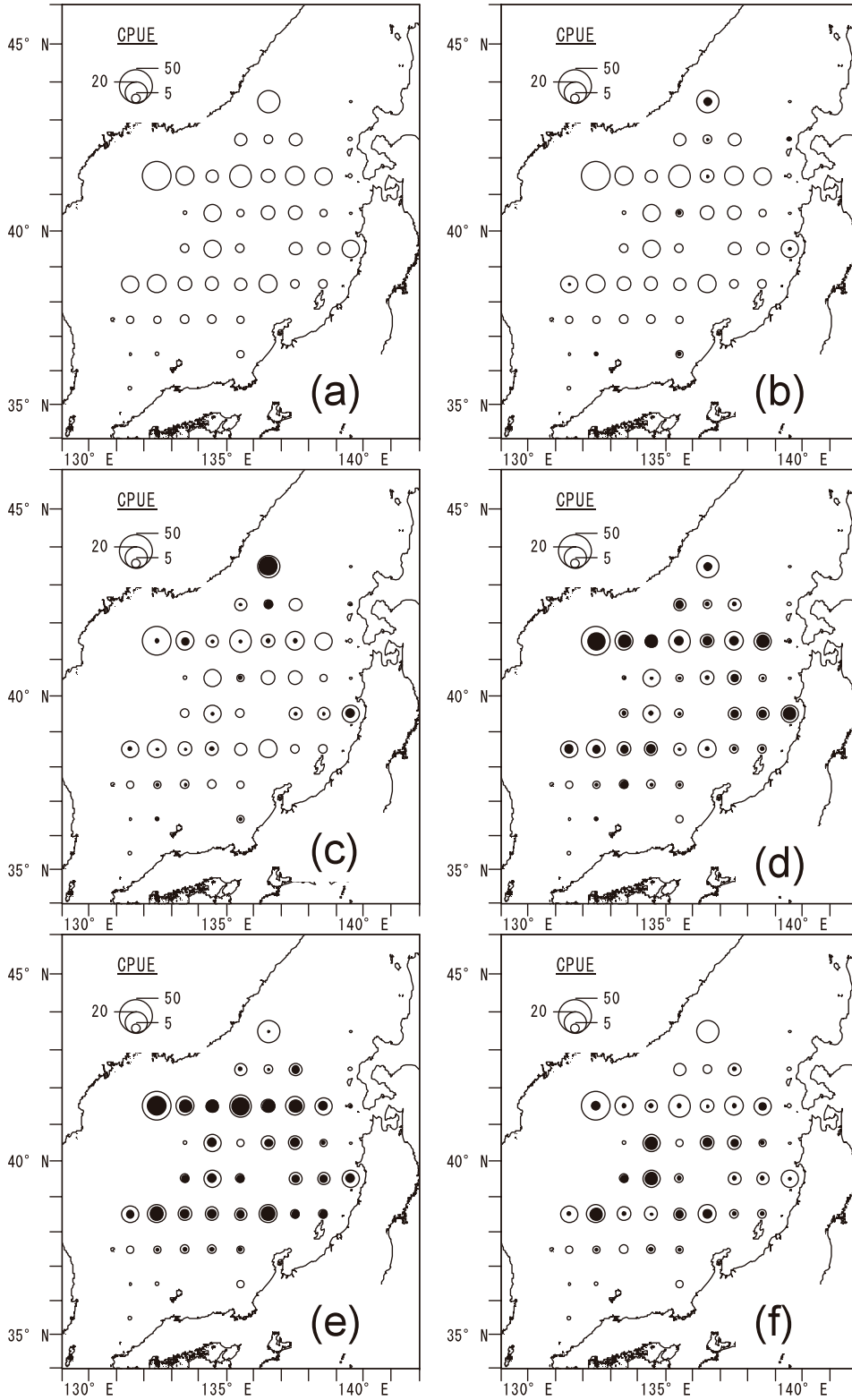
Appendix 1. (continued)

1982



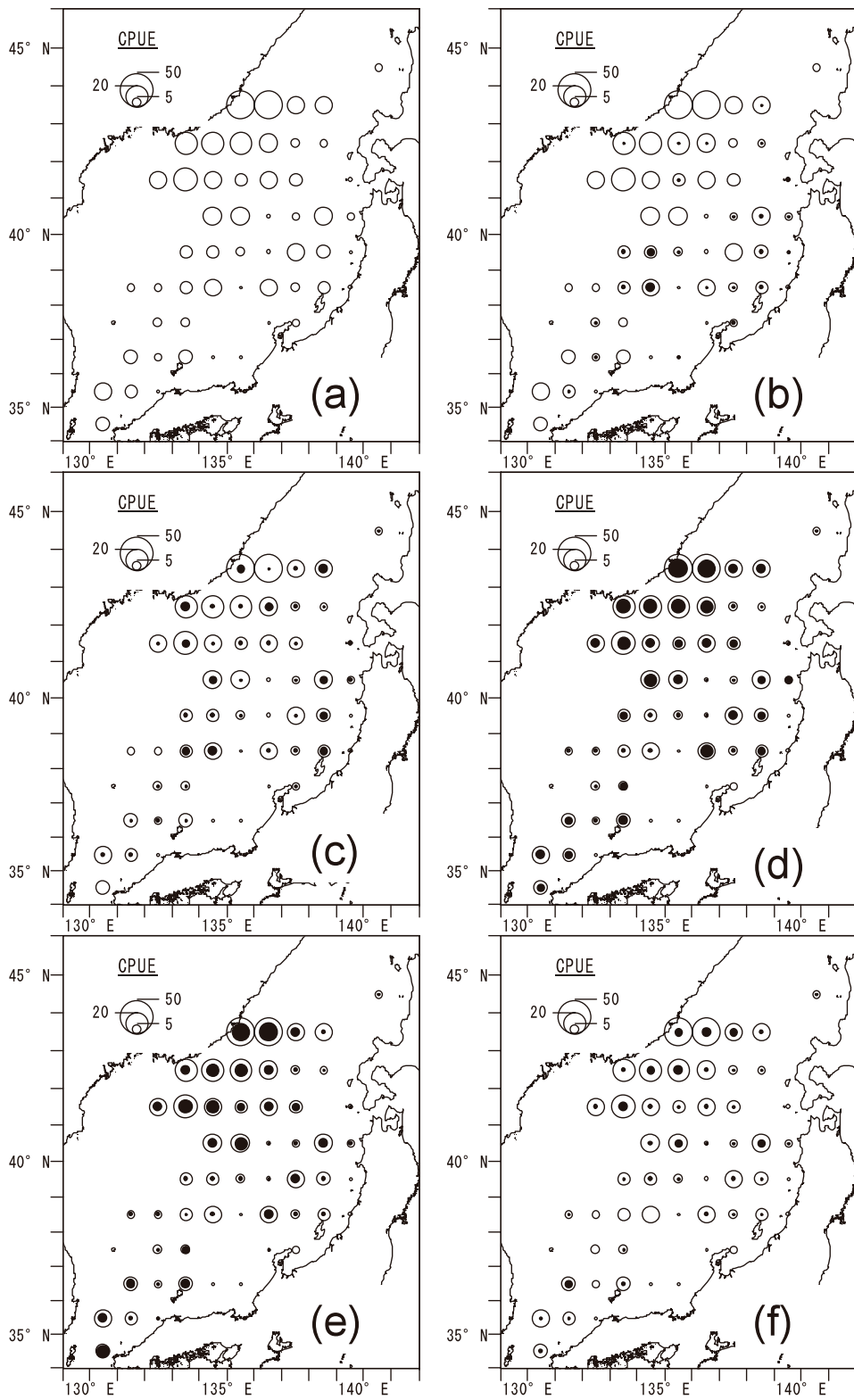
Appendix 1. (continued)

1983



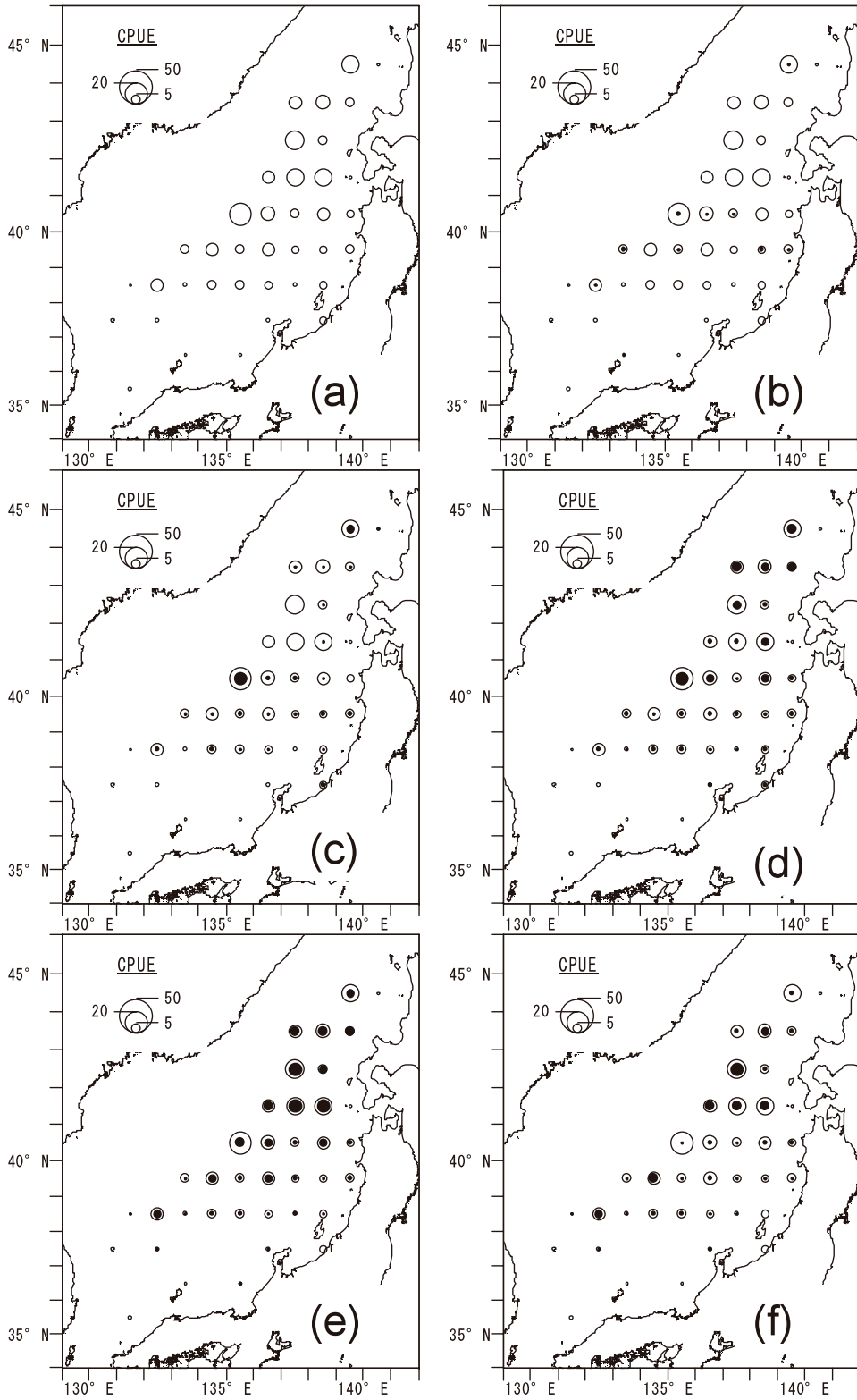
Appendix 1. (continued)

1984



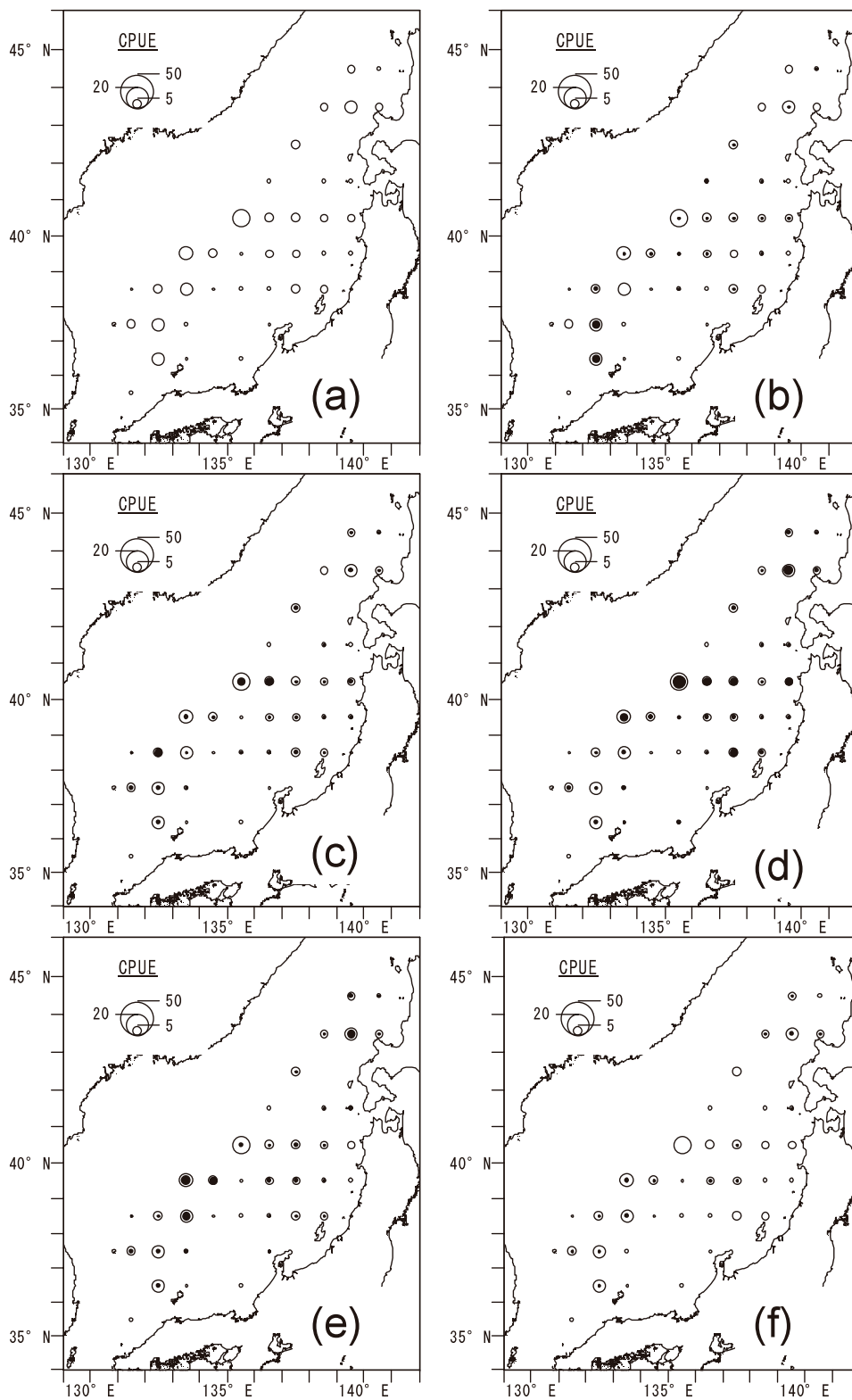
Appendix 1. (continued)

1985



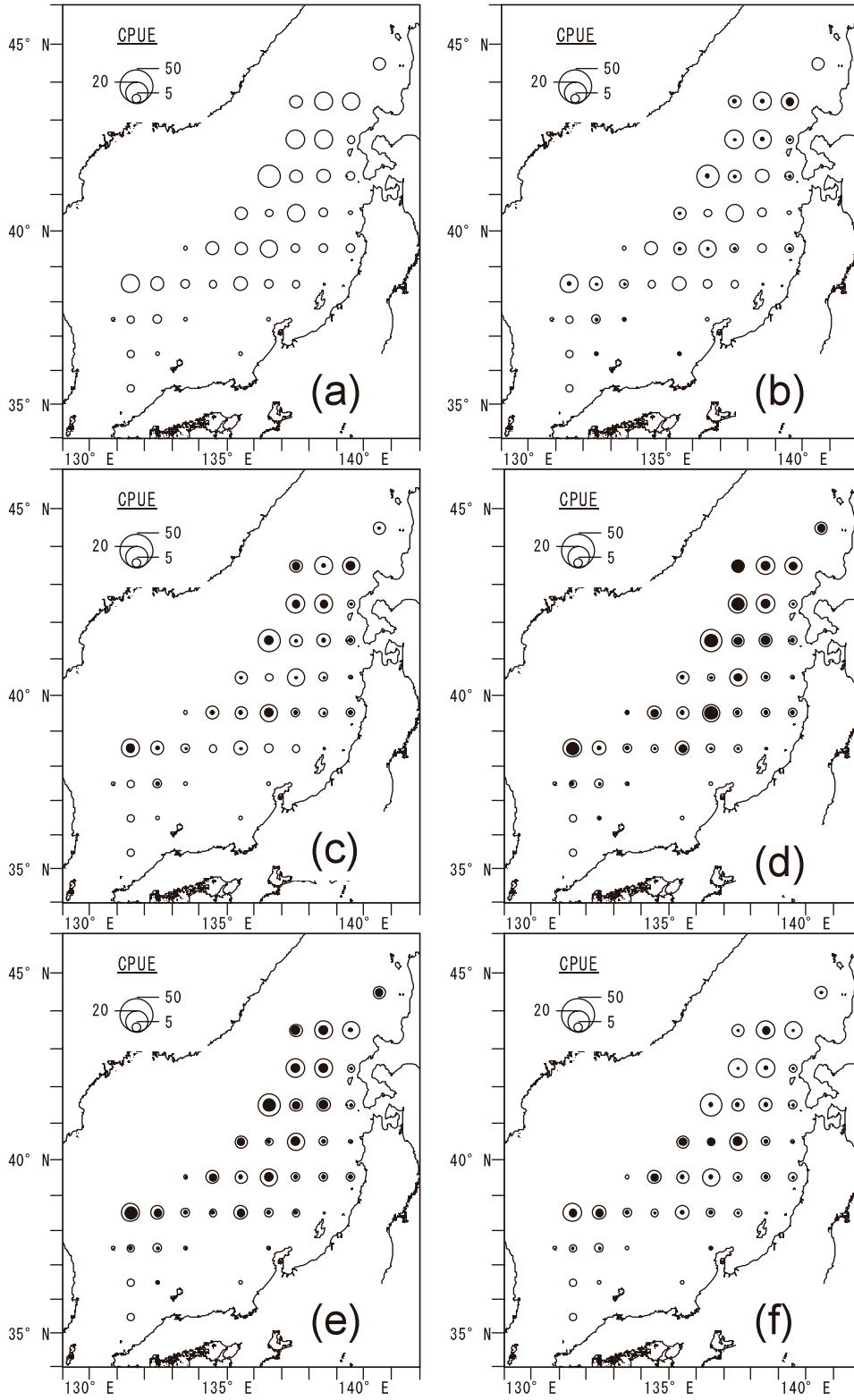
Appendix 1. (continued)

1986



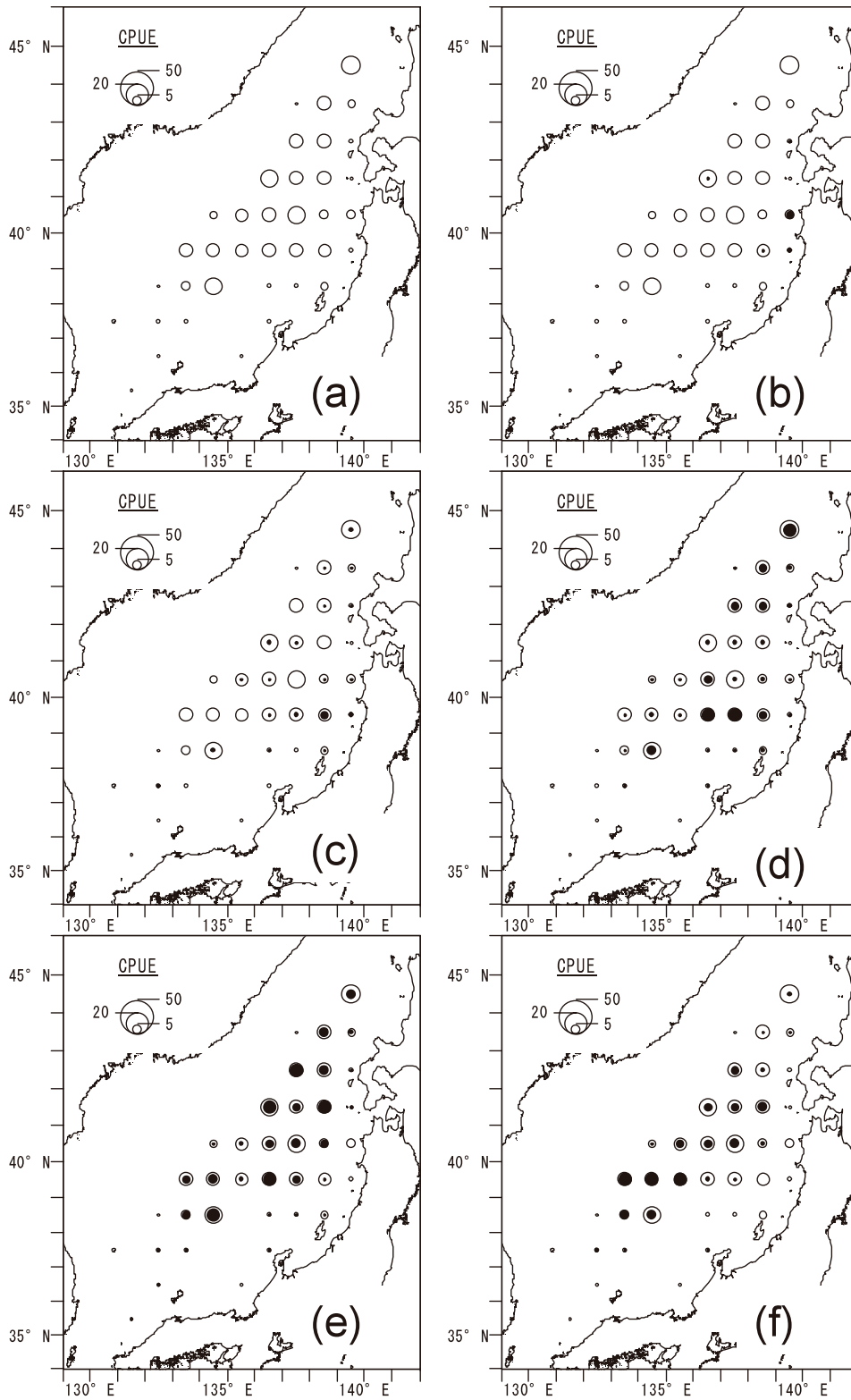
Appendix 1. (continued)

1987



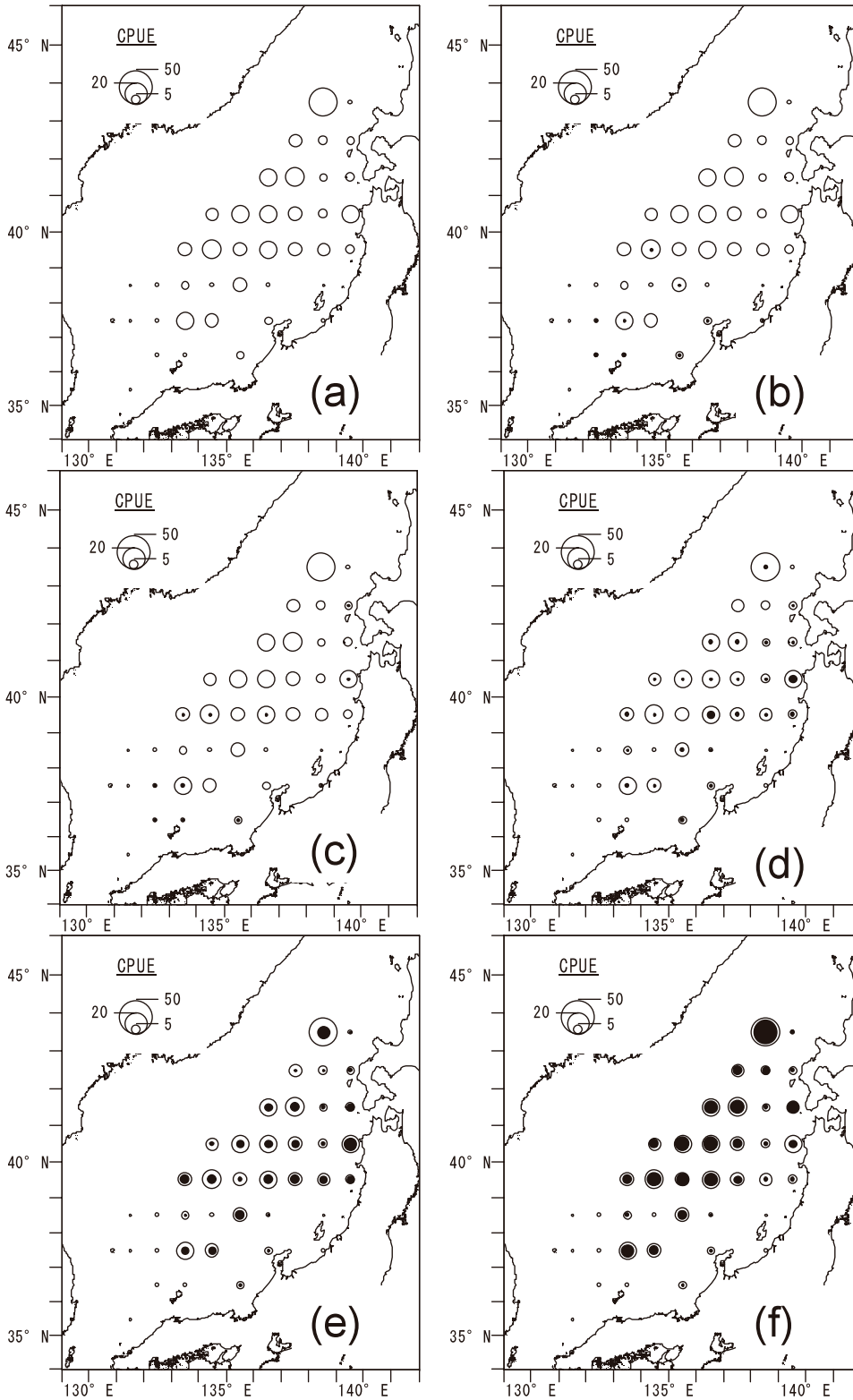
Appendix 1. (continued)

1988

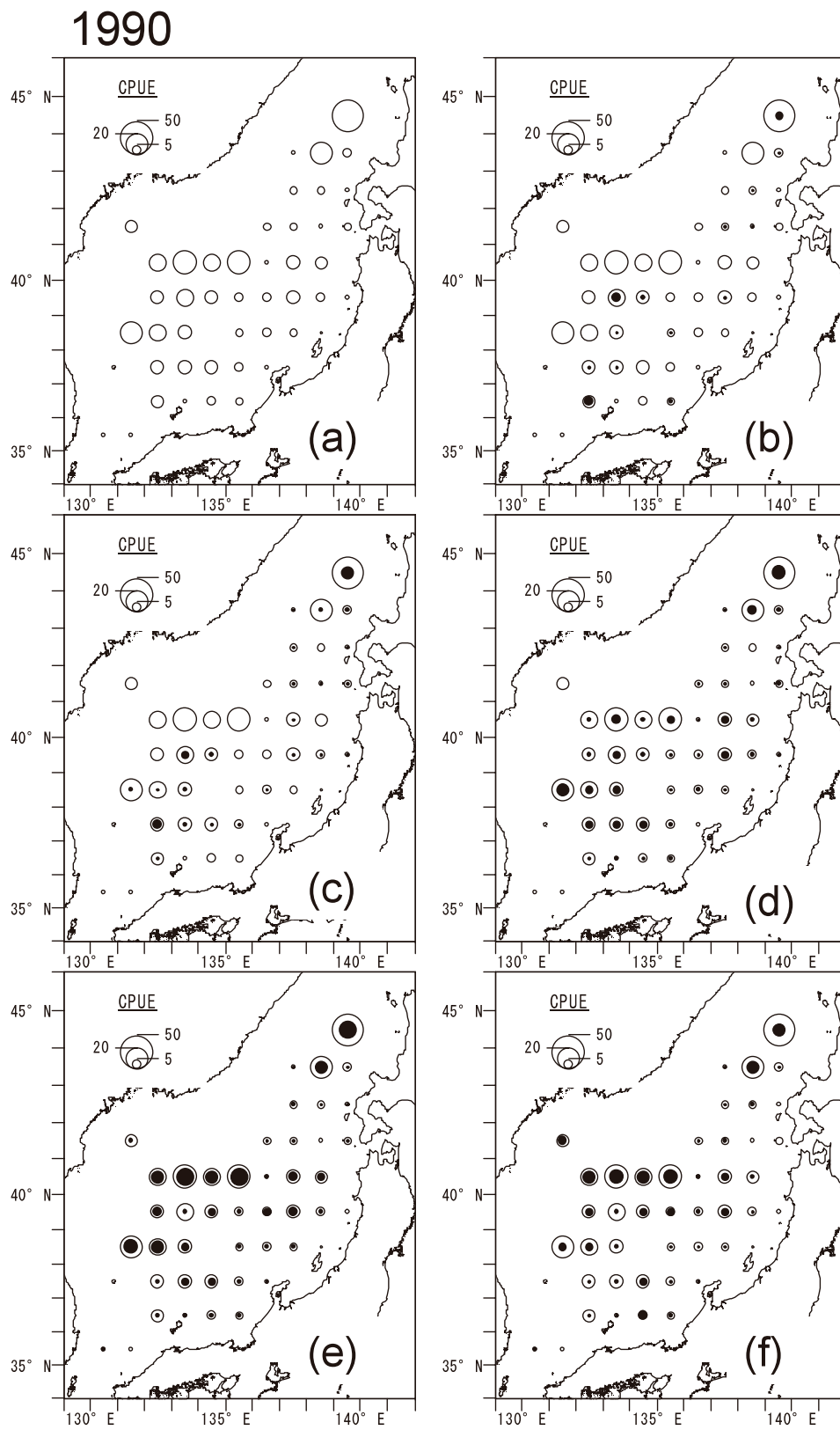


Appendix 1. (continued)

1989

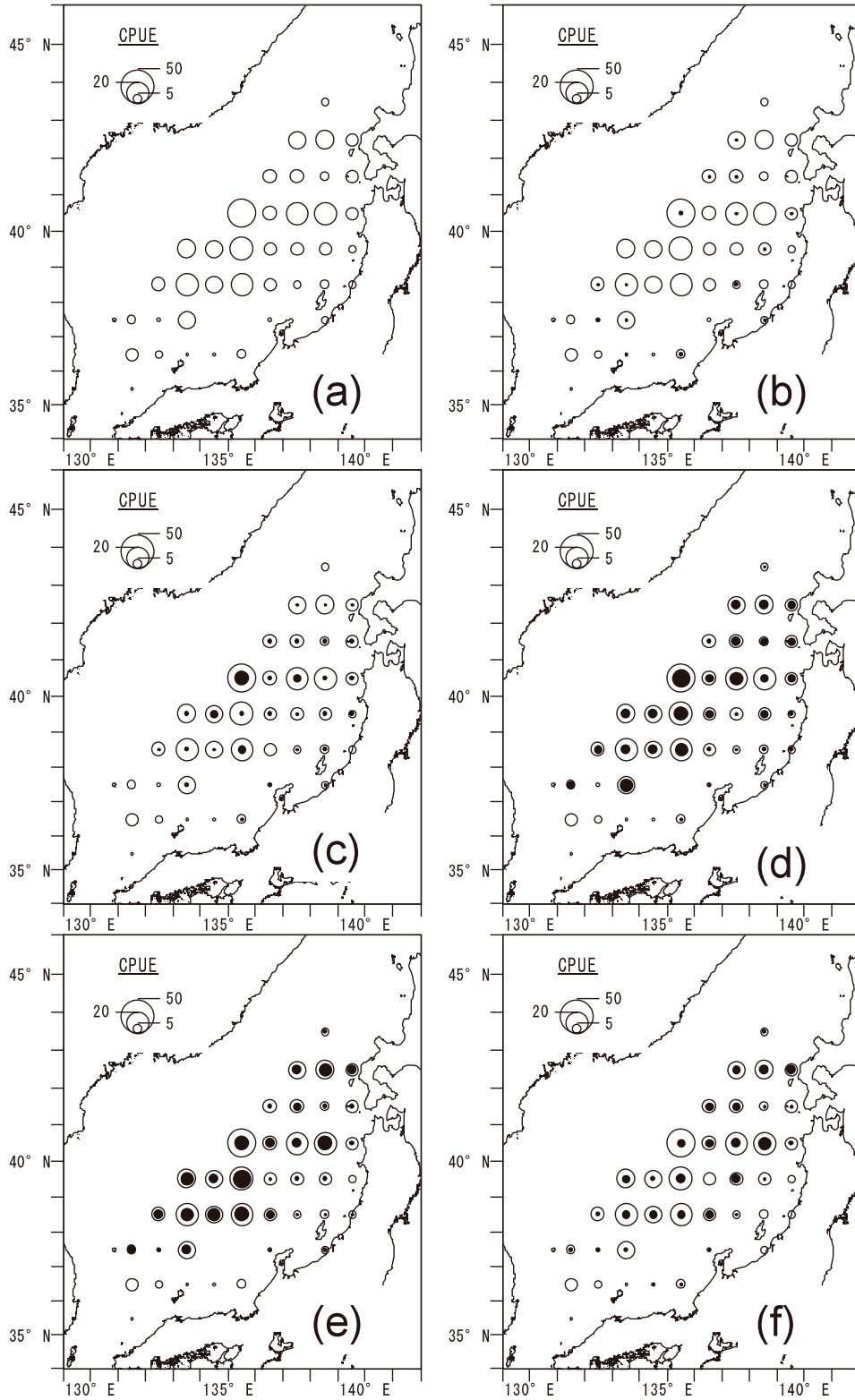


Appendix 1. (continued)



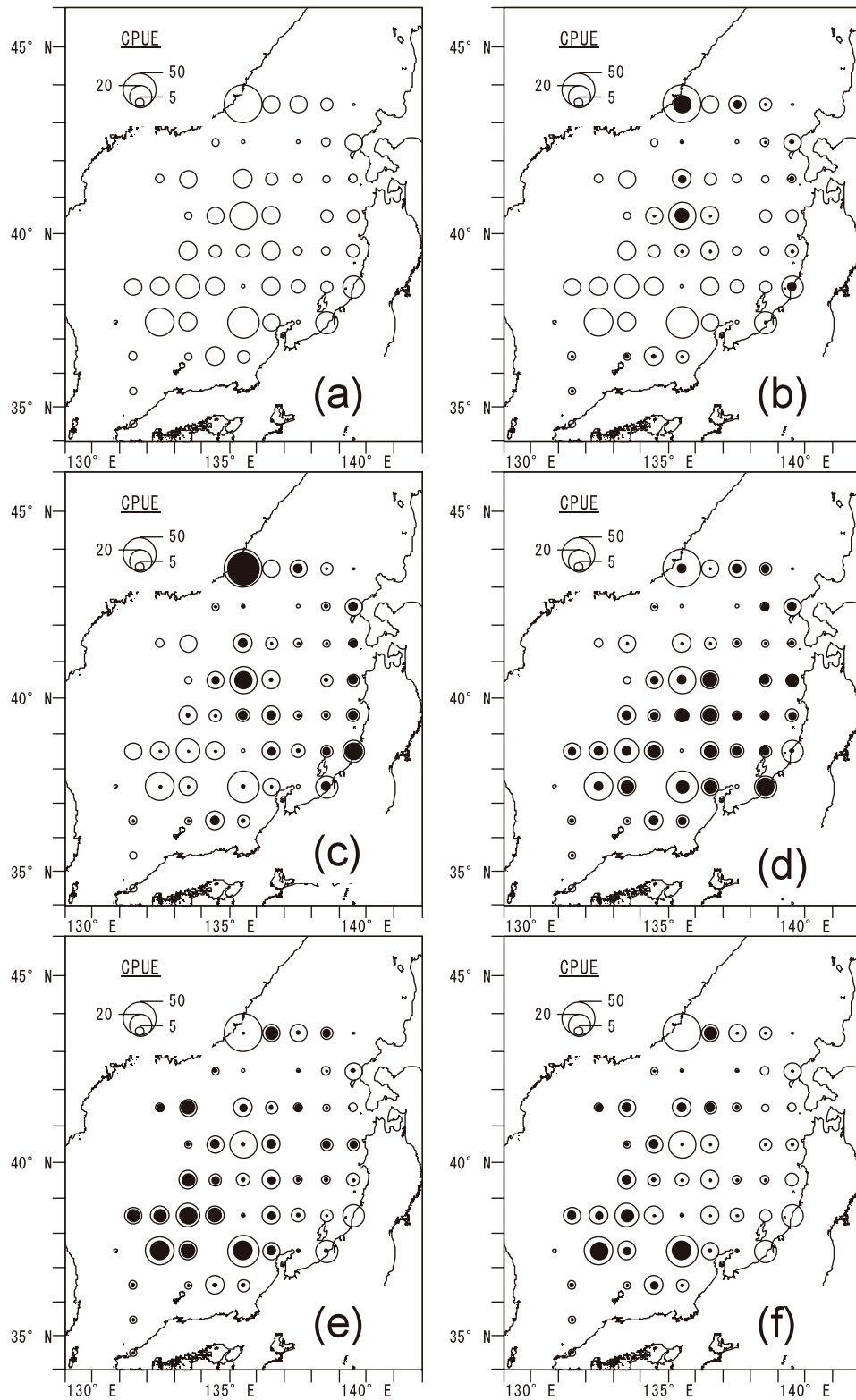
Appendix 1. (continued)

1991



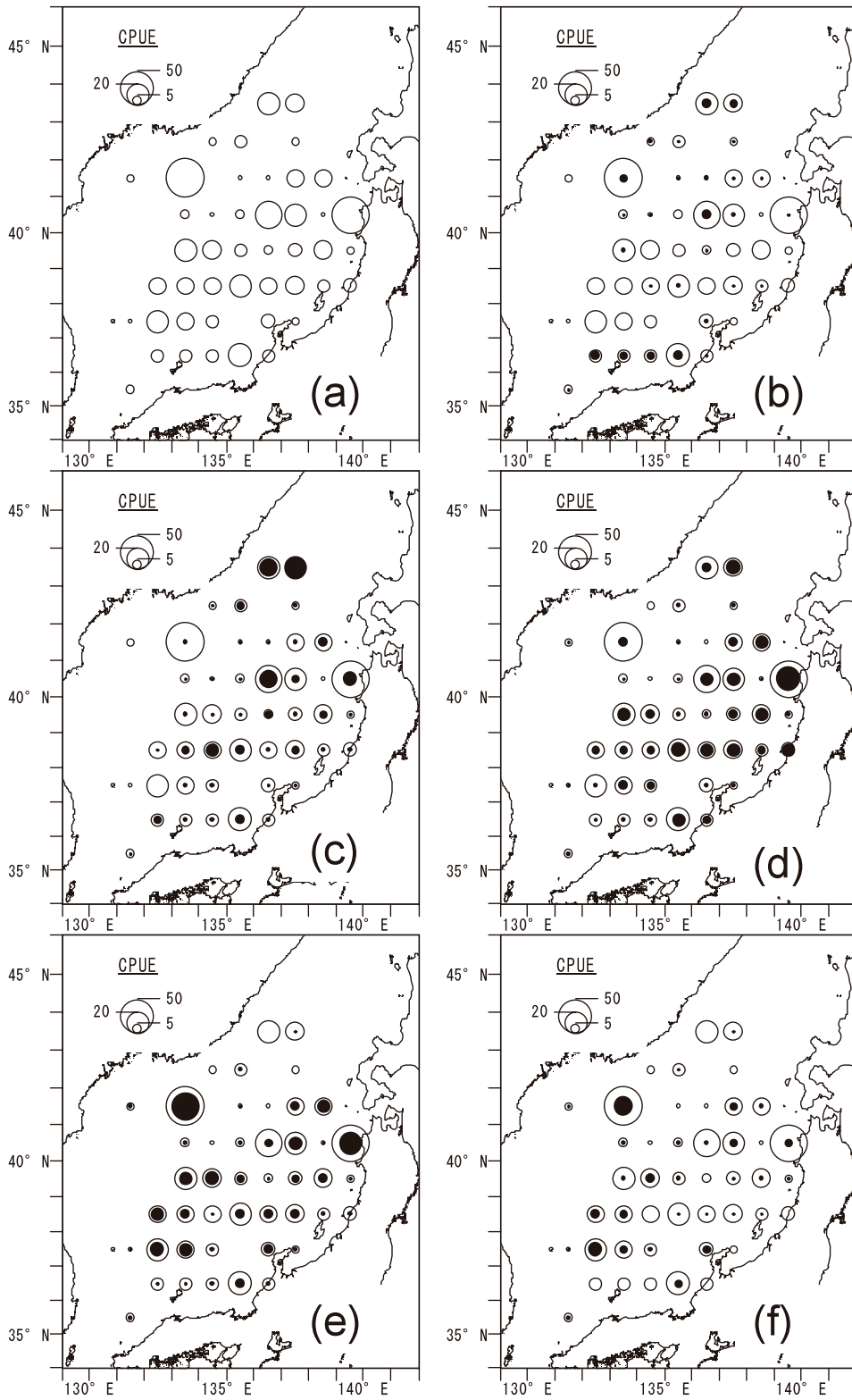
Appendix 1. (continued)

1992



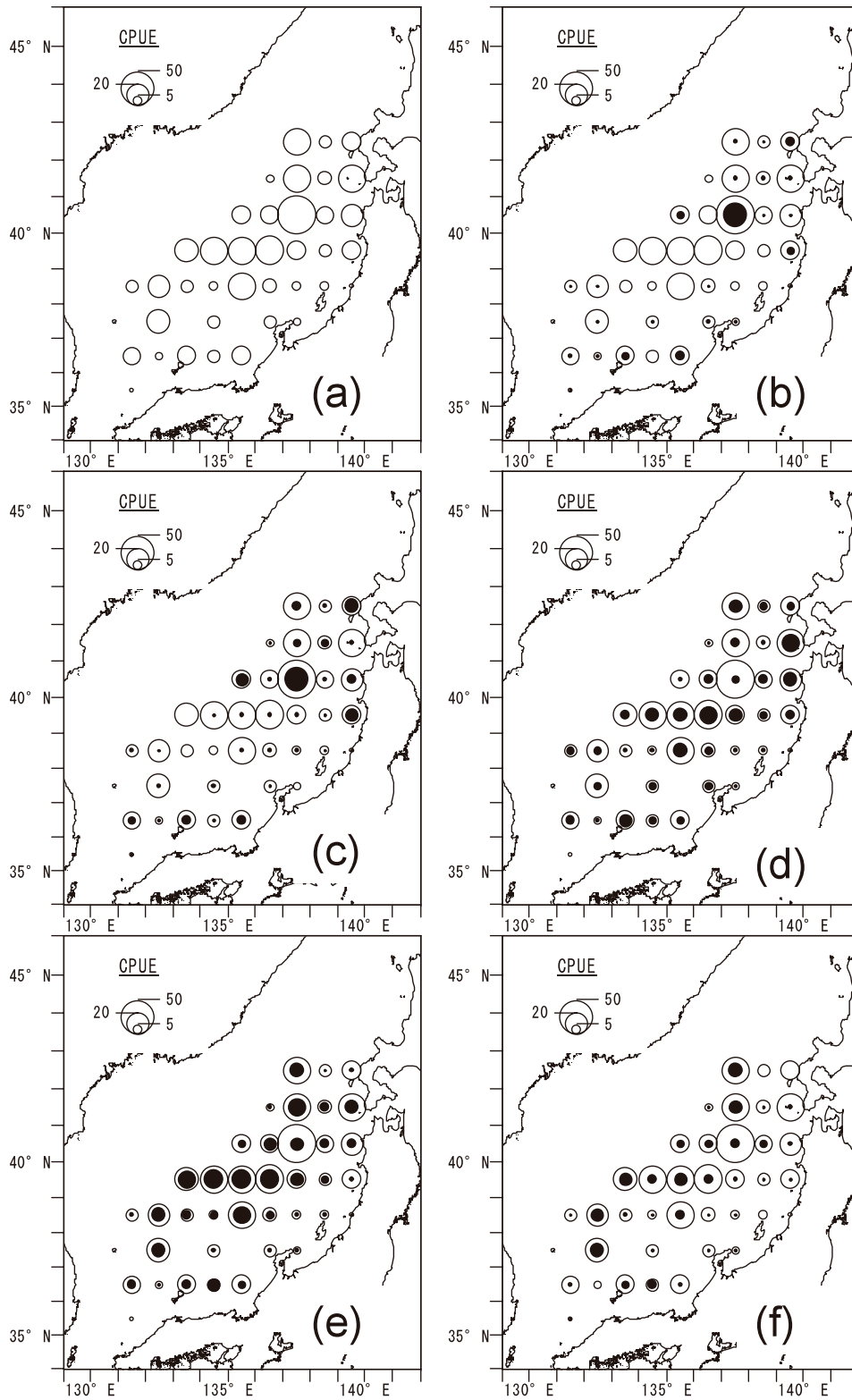
Appendix 1. (continued)

1993



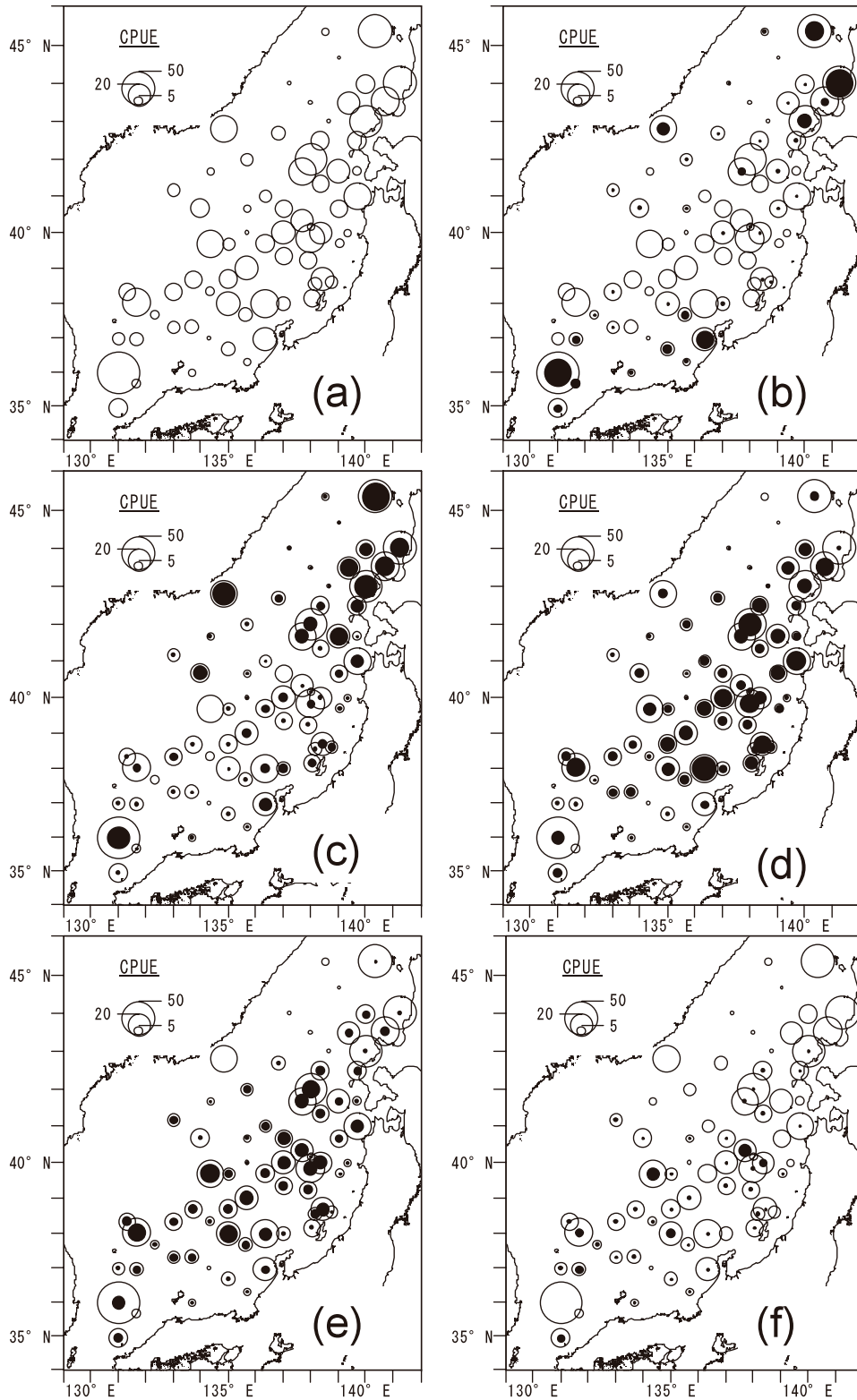
Appendix 1. (continued)

1994



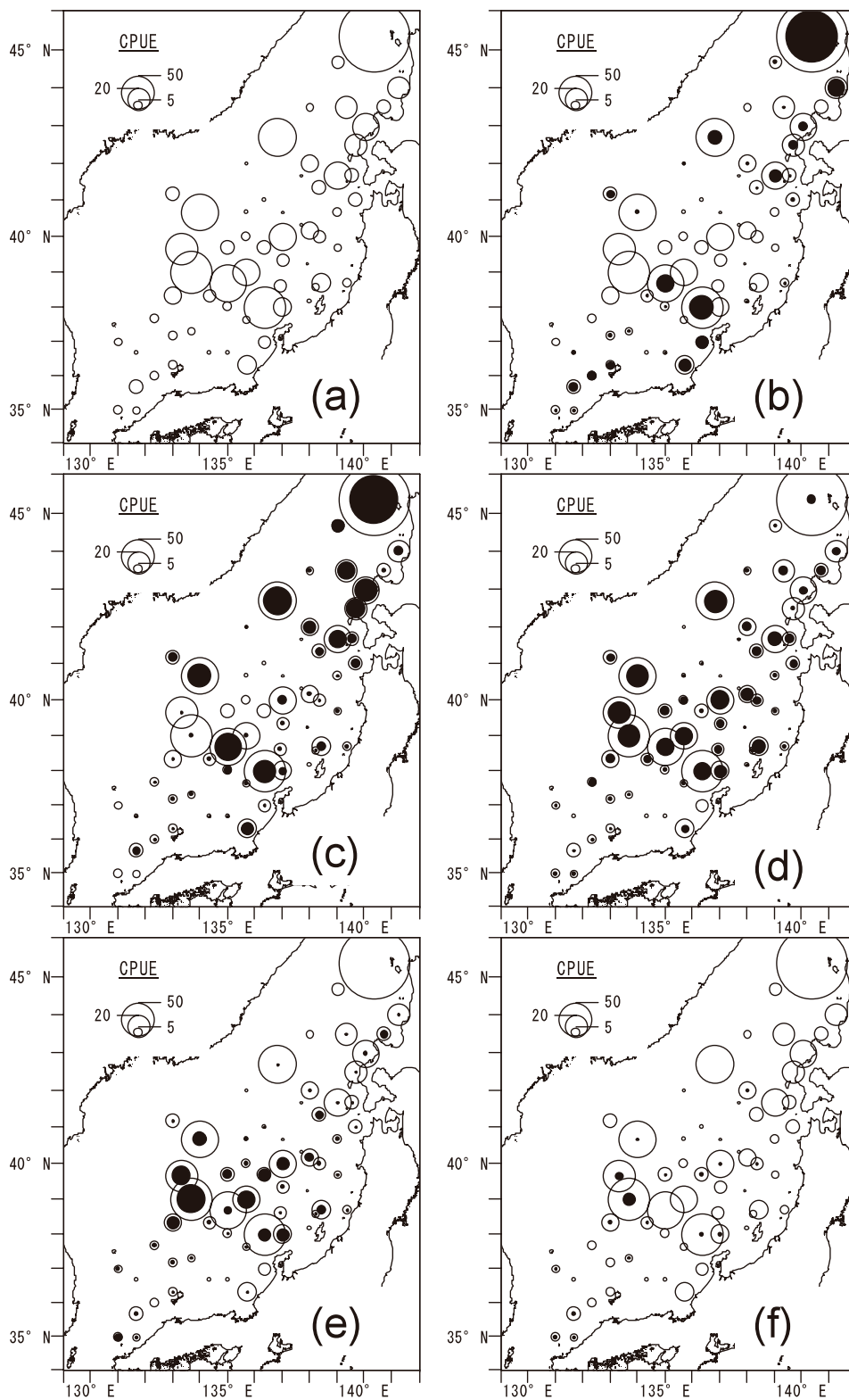
Appendix 1. (continued)

1995



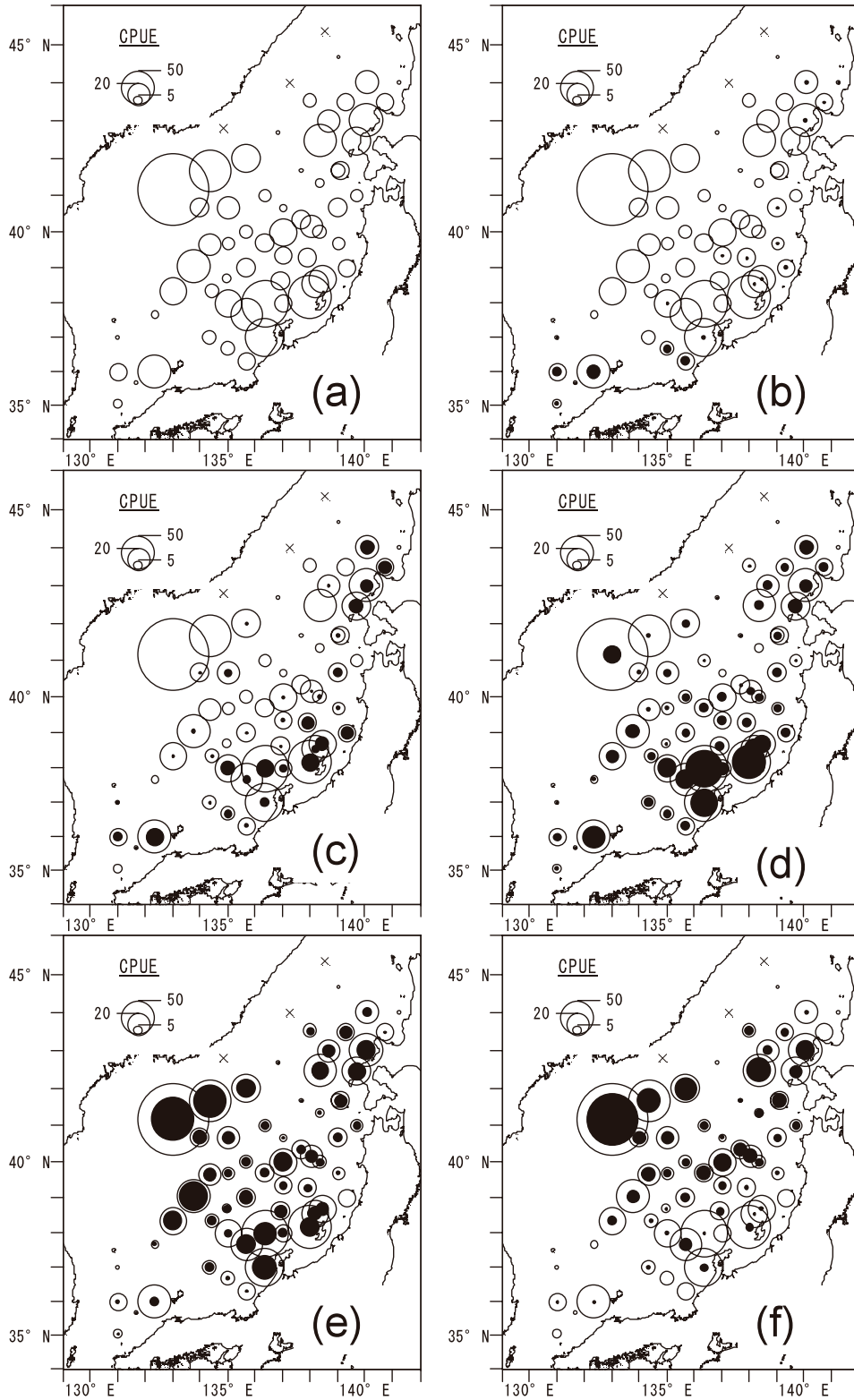
Appendix 1. (continued)

1996



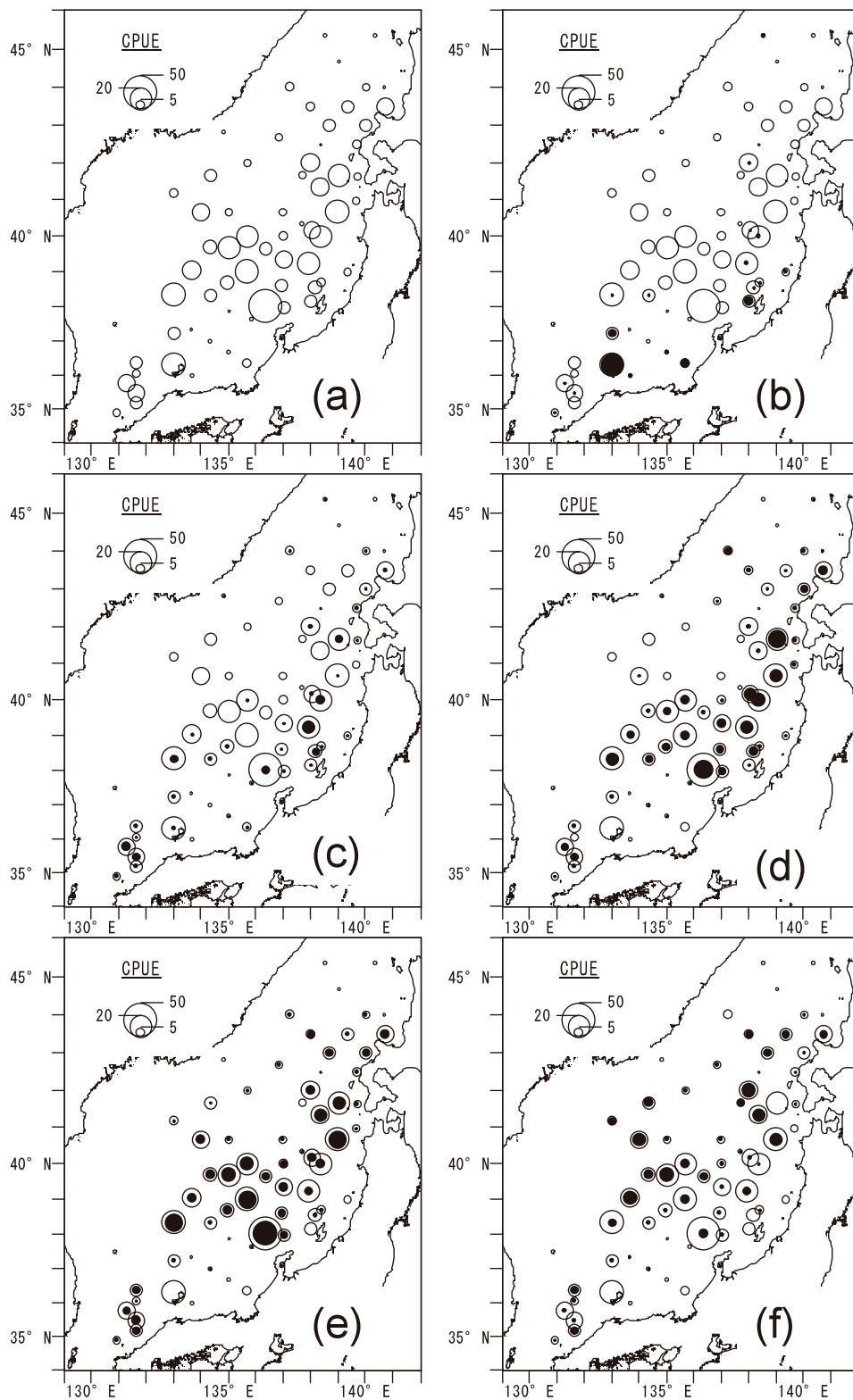
Appendix 1. (continued)

1997

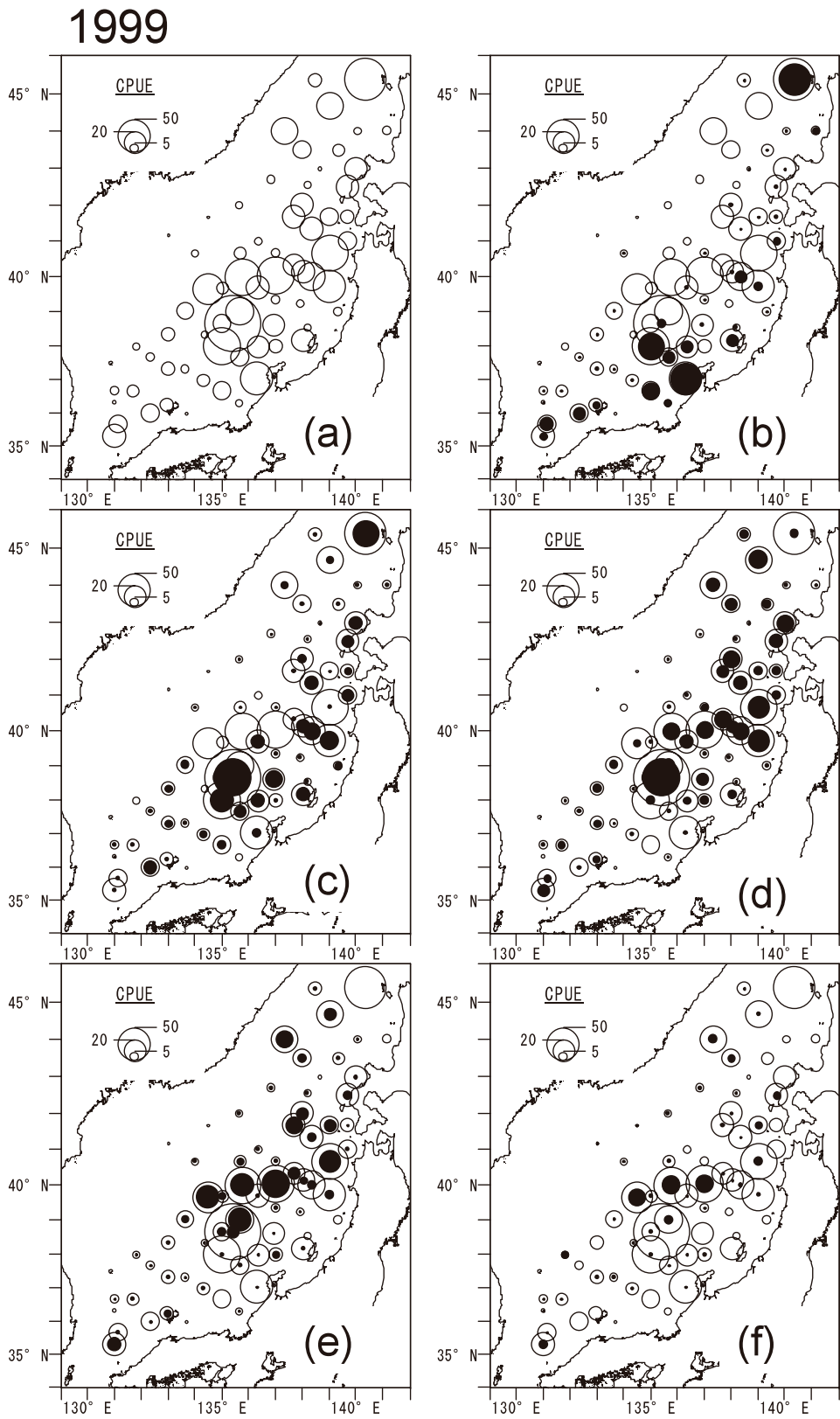


Appendix 1. (continued)

1998

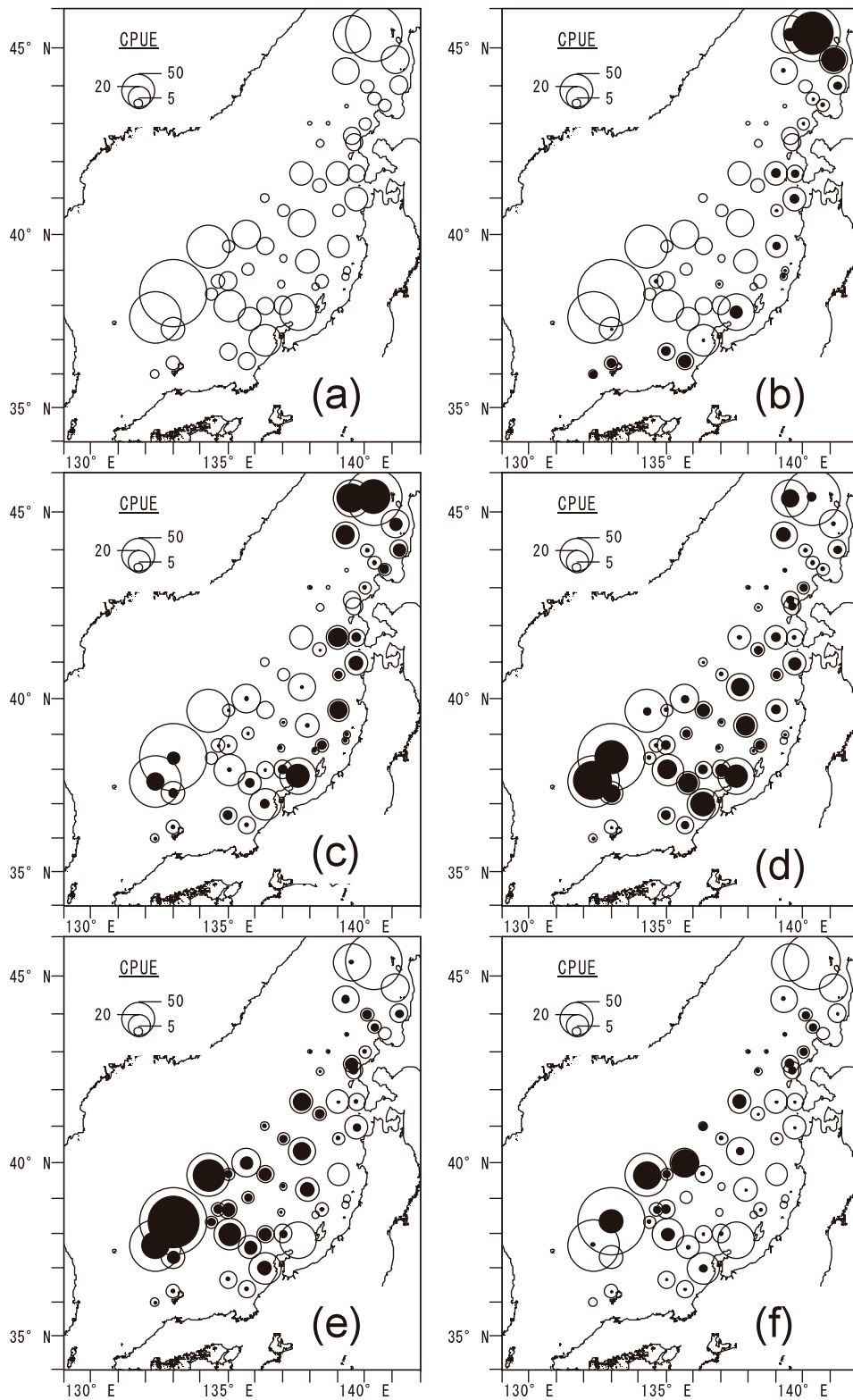


Appendix 1. (continued)



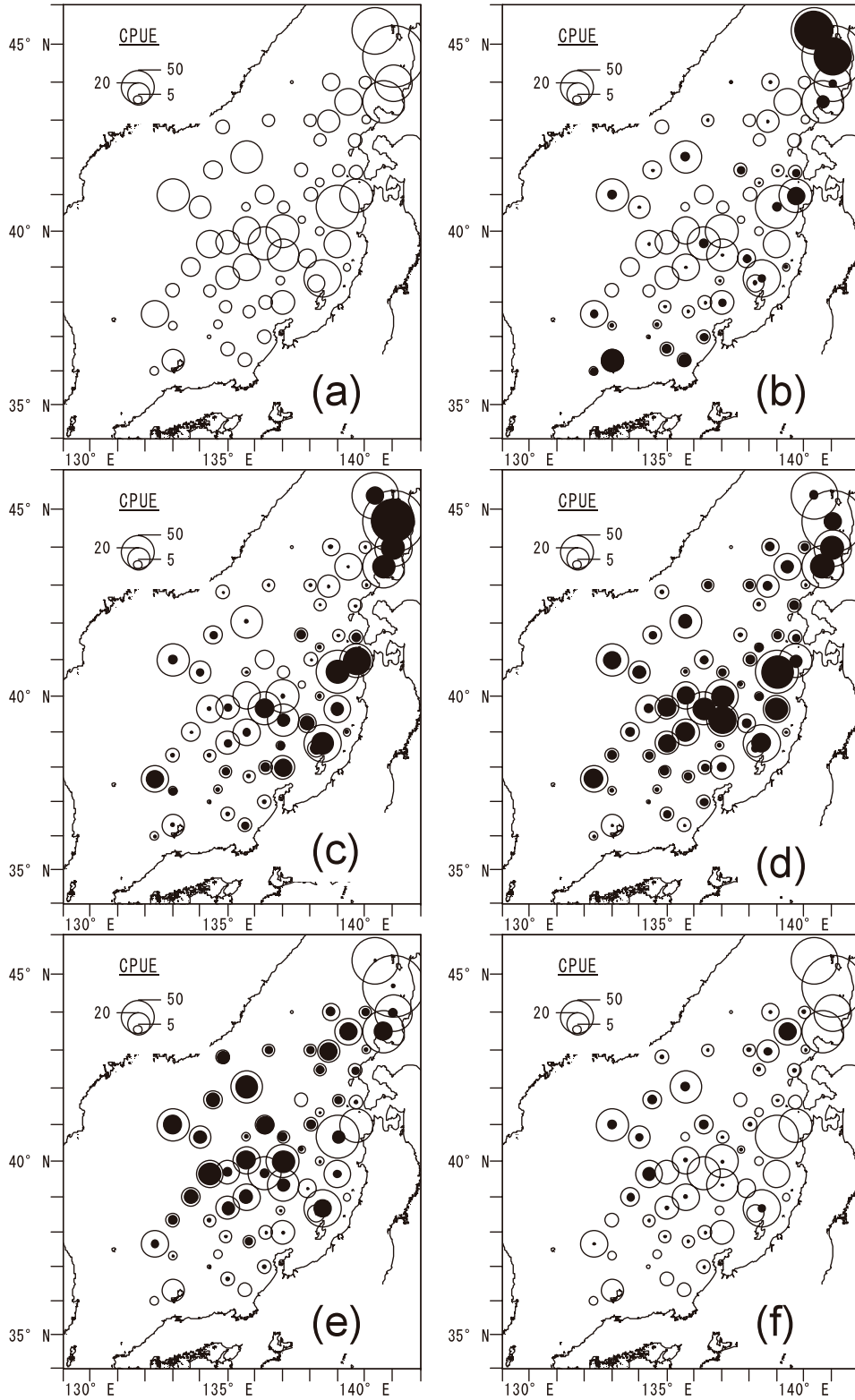
Appendix 1. (continued)

2000



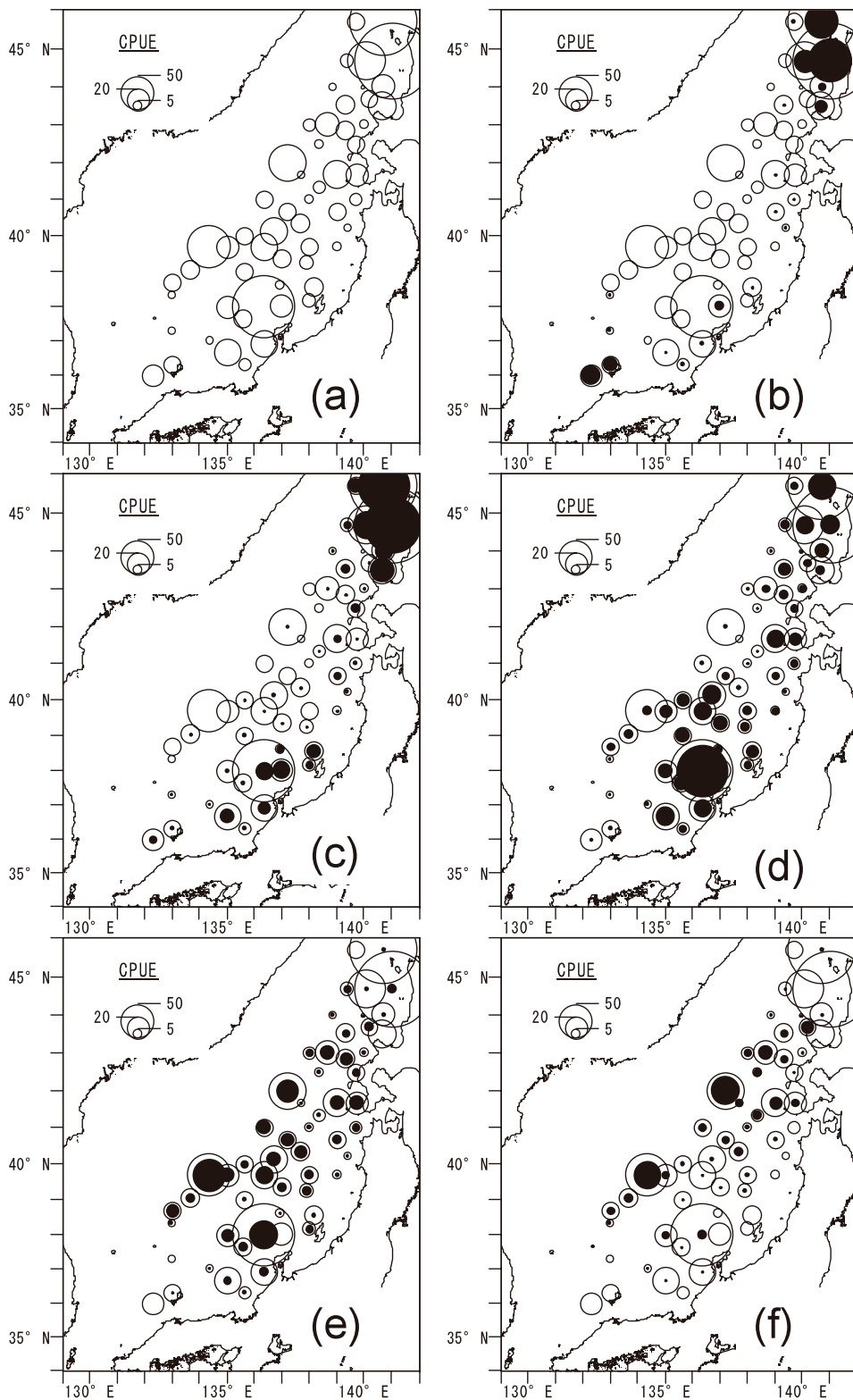
Appendix 1. (continued)

2001



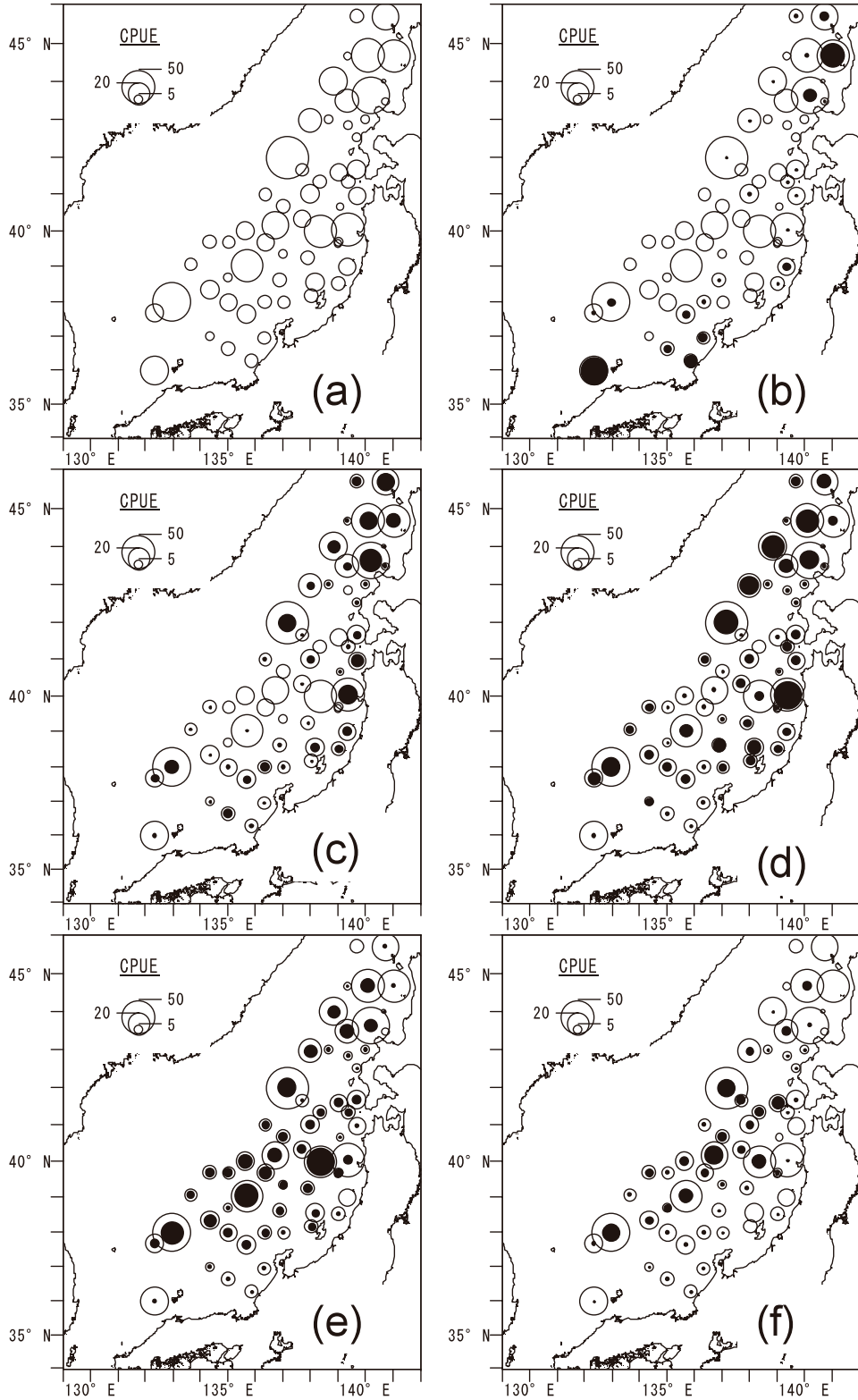
Appendix 1. (continued)

2002



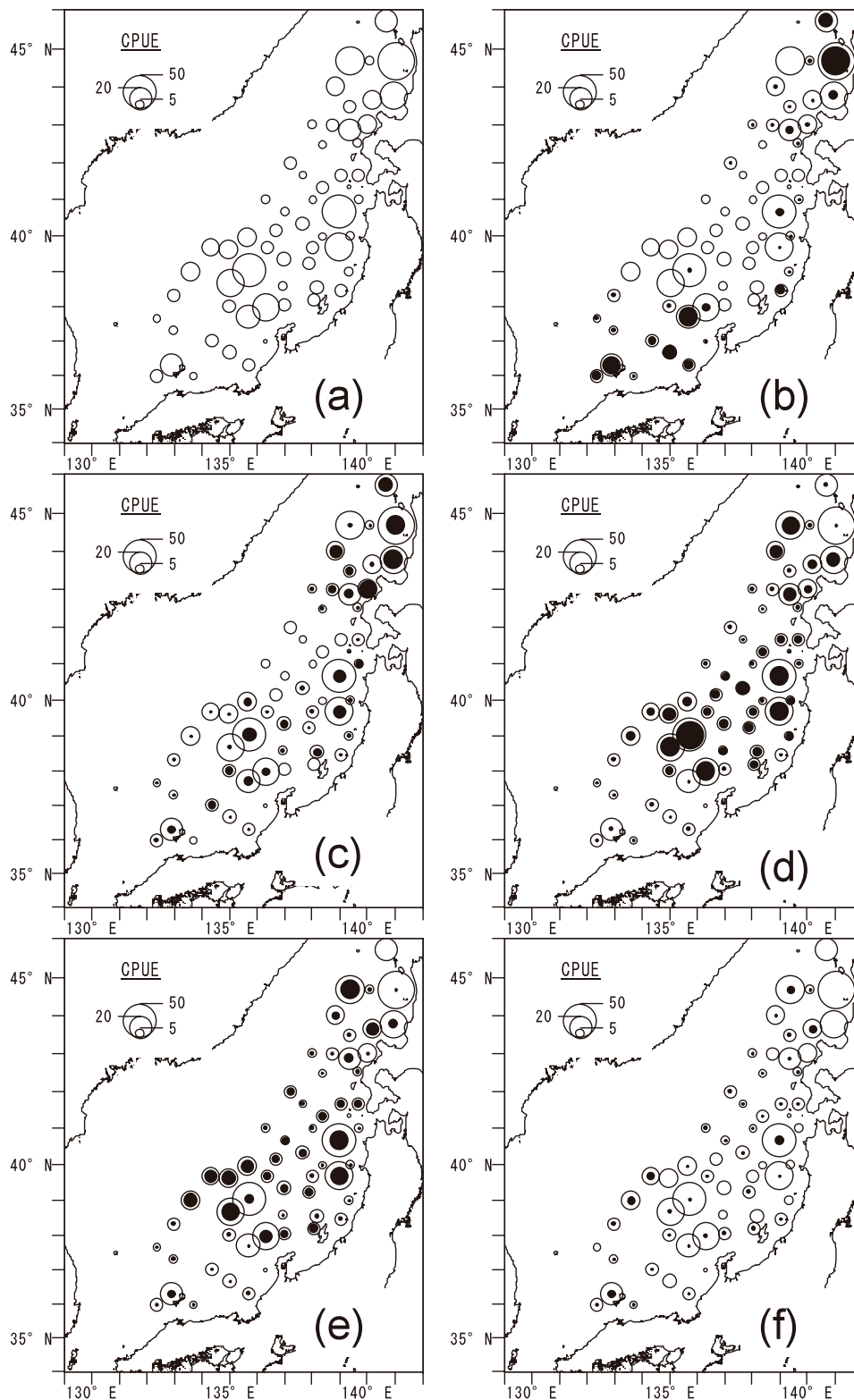
Appendix 1. (continued)

2003



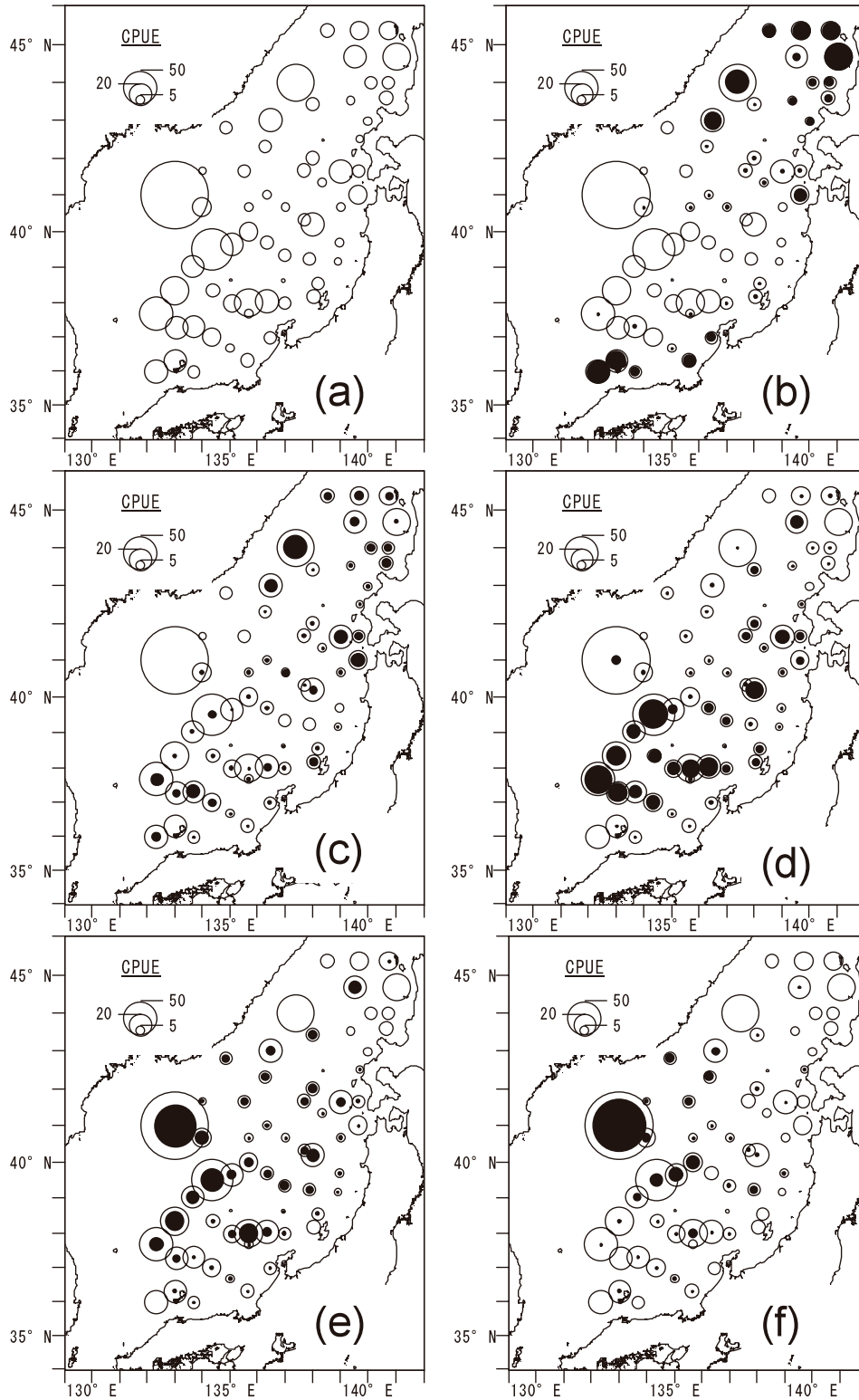
Appendix 1. (continued)

2004

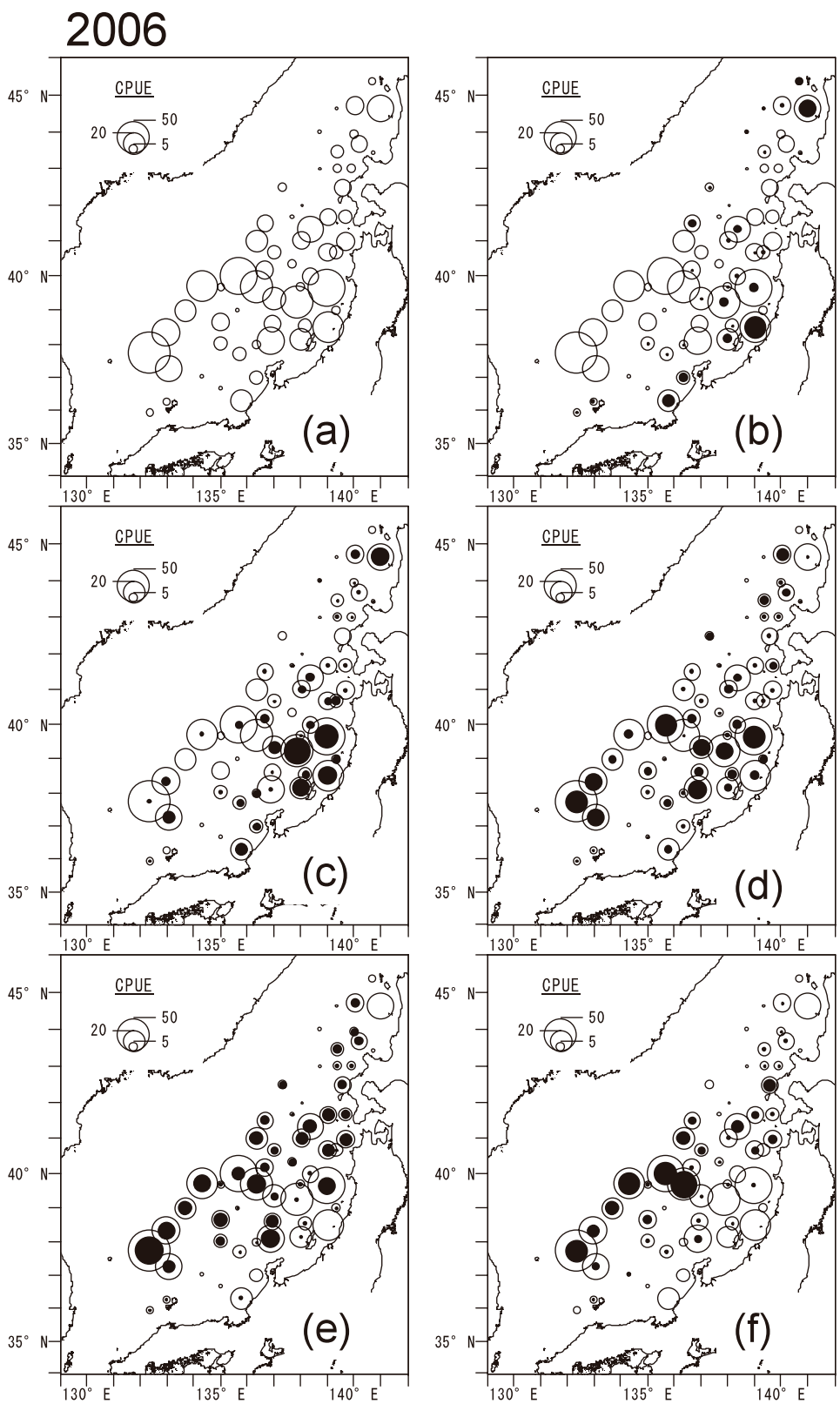


Appendix 1. (continued)

2005

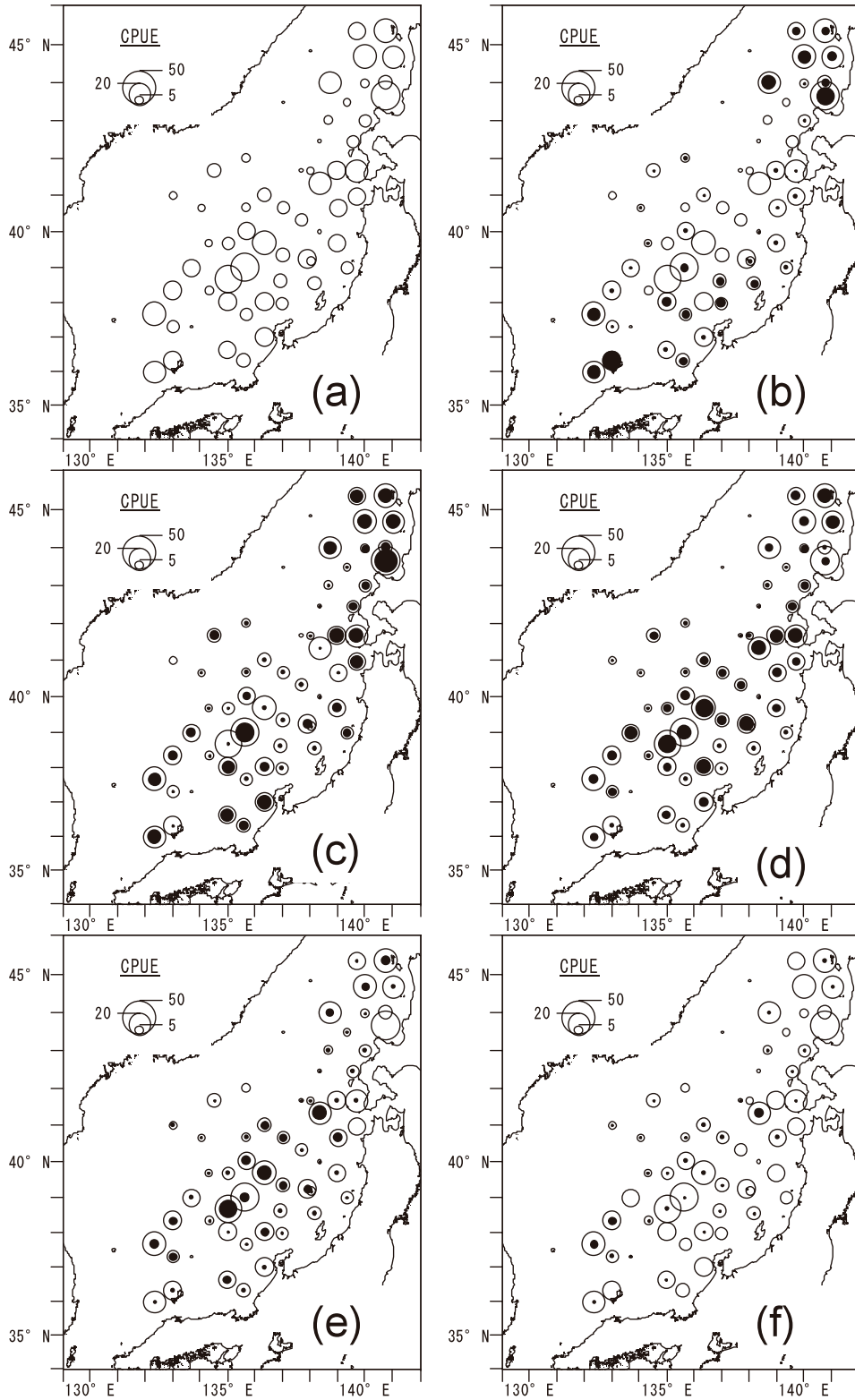


Appendix 1. (continued)



Appendix 1. (continued)

2007



Appendix 1. (continued)