

玄界灘における対馬暖流の流動変化が 漁場形成に及ぼす影響に関する研究

(Study on the Influence of the Tsushima Warm
Current on the Fishing Ground Formation
in the Sea of Genkai, Japan)

安藤 朗彦
(研究部)

第1章 緒言

九州北西に広がる玄界灘は、九州北部沿岸と福岡県宗像市の鐘ノ岬と地島を結ぶ線および対馬東海峡に囲まれた海域で、東は響灘、西は東シナ海に接する日本海の西端に位置している (Fig. 1-1). 沖合には、黒潮あるいは台湾暖流を主な起源として東シナ海から東西対馬水道を通り日本海を北上する対馬暖流が流れ (Senjyu et al., 2008), 沿岸は入り組んだ九州北部の海岸線と多くの島礁により遠浅の海域となっており、豊かな漁場を形成している. 東シナ海や日本海を回遊する浮魚類の来遊も多く、また沿岸域は地先性魚類の生息や回遊性魚類の産卵あるいは育成の場に適しており、多種多様な水産資源が生息している. これらの豊富な資源に恵まれた九州北部海域では、様々な水産資源を対象に周年まき網や船曳き網、釣り、延縄等漁船漁業が営まれ、またその沿岸域や島礁部は磯根資源を利用した潜水器漁業等の採介藻漁業の漁場として盛んに利用されてきた. しかしながら、年々漁獲量が減少し続けていることから、資源回復方策を実施する一方で、科学的な知見に基づく資源量推定や正確な漁況予測に基づく適切な漁業管理を目的として多くの研究が行われている.

一方、玄界灘の漁海況を論ずる上で重要な要因の一つである対馬暖流については、長期にわたる海洋観測が継続して行われており、これまでに、対馬暖流の流況が玄界灘の海況と関わりが深いこと (俵ほか, 1991), 対馬暖流の流量は年によって異なる季節変化をしていること (河野, 1993), 東西対馬水道を通る対馬暖流の流量は毎年一定ではなく (滝川, 2003), 対馬東水道の水塊は東シナ海の黒潮か台湾暖流に由来すること (Senjyu et al., 2008) 等が明らかにされている.

多種多様な玄界灘に来遊する回遊性の魚類の中で、マアジは生産量に占める割合が高く、また、ケンサキイカ

は依存する漁業者が多い重要種である. 近年、対馬暖流域のマアジに関する研究が急速に進展し (佐々・小西, 20

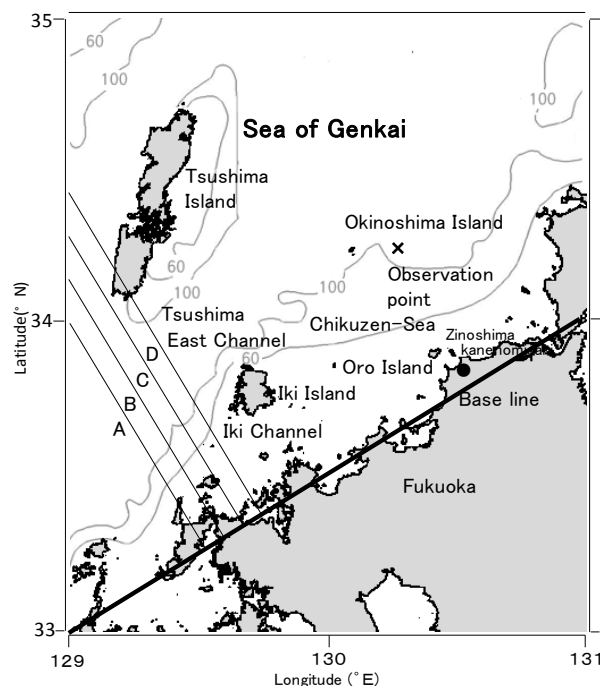


Figure 1-1. Investigation areas (the Sea of Genkai) of the present study. The base line used for measuring the distance from shore is indicated with a thick solid line. Thin lines (A-D) perpendicular to the base line were used for the analysis on spatial change in the sea surface temperature (see the text for details).● : Location of Kanazaki Fisheries Cooperative Association, ×: Station for monthly observation. The depth contours of 60m and 100m are indicated with a grey line.

02 ; 依田ほか, 2004 ; Sassa et al. , 2006 ; Kasai et al. , 2008), 対馬暖流系のマアジ資源の再生産機構や対馬暖流とマアジ資源の関連が明らかにされ, 毎年の資源状況や初期資源の推定結果を基に資源管理が進められている。しかしながら, 資源量の推定値と玄界灘におけるマアジ漁獲量の動向は必ずしも一致していない。玄界灘の筑前海は主に0・1歳魚の滞留の場になっており(中川, 1989), 対馬暖流系のマアジ当歳魚の大部分は対馬東水道を通過する(山田, 1969)ことから, 玄界灘のマアジの漁海況を論ずるには, 資源量だけでなく玄界灘の漁場形成と対馬暖流の流況の関係を明らかにする必要がある。

一方, 九州北部沿岸域の漁業者の多くが漁獲対象としているケンサキイカには, 3つの季節群が存在することが知られているが(森脇, 1994), その生活史には不明な点が多い。本種の寿命が1年でしかも個体の成長差が著しいこと(新谷, 1988; Natsukari et al. , 1991)から, 資源量の推定の基礎となる再生産のメカニズムは明らかにされていない。本種の資源量推定や適切な漁獲管理ができるようにしていくためには, 各季節群の生活史の解明や分布状況および加入初期の資源豊度の評価方法の確立が必要であり, そのためにはまず本種の分布実態の把握が不可欠であることが指摘されている(河野, 2007)。今後, 本種の資源研究を進めるためにも, まず玄界灘における漁場形成要因を解明することが, 極めて重要な課題となっている。

以上のように, 玄界灘において対馬暖流と関係の深いこれらの2魚種の漁場形成と対馬暖流の流動変化等との関わりを明らかにすることは, 資源の管理やそのための調査研究を進める上で極めて重要性が高いが, 対馬暖流が玄界灘の沿岸漁業に及ぼす影響に関する報告はこれまで非常に少ない。対馬暖流は気象の影響を受けやすく, 我が国沿岸の太平洋域を流れる黒潮に比べ, 厚さが薄く, 流速は小さく, 幅が狭く, 流路の屈曲が著しいことから, その流況の実態を捉えるには広域かつ頻度の高い観測が必要である(川合, 1974)。そのため従来の手法で対馬暖流の流況を捉えるには, 多大な労力と費用が必要であり, その点が大きな課題の一つであった。そこで本研究では, 天候に左右されるという難点はあるものの, 高い頻度で広域の同時測定が可能である人工衛星を用いた熱赤外帯放射輝度による海表面水温の測定結果から対馬暖流の流況を捉え, その流動変化が玄界灘の漁業に及ぼす影響について検討を加えることを目的とした。

第2章では, 対馬東水道に定線を設け, 人工衛星による海表面水温の計測結果から定線上の水温分布を明らかにし, それに基づいて2000-2005年の各年別に対馬暖流の流況を解析した。その一方で, まき網漁船の操業記録

から操業日別にマアジの漁獲の中心となった漁場位置を求め, これらを総合的に用いて, 年間で漁獲量に占める割合が最も高い5月を対象に, 2000-2005年のマアジ漁場の形成と対馬暖流の流況との関連について検討した。

第3章では, マアジの場合と同様に対馬東水道に定線を設け, 定線上の水温分布をもとに年別に対馬暖流の流況を解析するとともに, いか釣り漁船の操業記録から操業日別にケンサキイカの漁獲の中心となった漁場位置を求め, 主漁期の漁獲量と高い相関が認められる4月を主な対象として, 2000-2005年のケンサキイカの春季の漁場形成と対馬暖流の流況との関連について検討した。

第4章の総合考察では, 対馬暖流の流動変化が玄界灘のマアジおよびケンサキイカの漁場形成に及ぼす影響に関する本研究の成果を総括するとともに, 本研究で得られた知見の意義や新規性・独自性について述べ, 玄界灘における漁海況研究を今後さらに発展させるための課題をとりまとめた。

第2章 玄界灘に來遊するマアジの漁場形成に及ぼす対馬暖流の影響

2-1 はじめに

マアジ(*Trachurus japonicus*)は, 対馬東水道と筑前海を含む玄界灘(Fig. 1-1)における主要漁獲対象種の一つであり, 漁業生産上重要な魚種である。玄界灘に面した福岡県の沿岸漁業では, マアジ漁獲量の約90%を5-12月に操業される中型まき網漁業で漁獲しており, 毎年まき網漁業が開始される5月は年間漁獲量に占める割合が高い。沿岸から約10 km の範囲を除く福岡県沿岸域で営まれる中型まき網漁業は, 夜間に集魚灯を備えた灯船で探索した魚群を蝟集させ, 全長400-500 m, 中央部の網丈が150 m以内の台形状の網を搭載した1隻の網船が集めた魚群を網で包み込むようにして漁獲する効率の高い漁業である(Fig. 2-1)。この中型まき網漁業は, 複数の漁船から成る船団で営まれ, 直接漁労作業に従事する漁業者の他に漁獲物の仕分けや運搬作業に多くの人手を要することから, 漁村地域に多くの雇用の場を提供しており, 地域の経済においても重要な役割を担っている。このためまき網漁業の安定した経営が望まれるが, 毎年の漁獲量や漁獲位置の変動は大きく, 漁況の予測は難しい。近年, 対馬暖流域のマアジに関して, 東シナ海における産卵場が特定され稚仔魚の輸送と対馬暖流の関連等, 資源の初期加入に関する研究が急速に進展した(佐々・小西, 2002 ; 依田ほか, 2004)。Sassa et al. , (2006)は, 東シナ海で孵化した多数の稚魚が黒潮の分岐流によって, 育成場となる九州西岸の浅海域へ運ばれること,

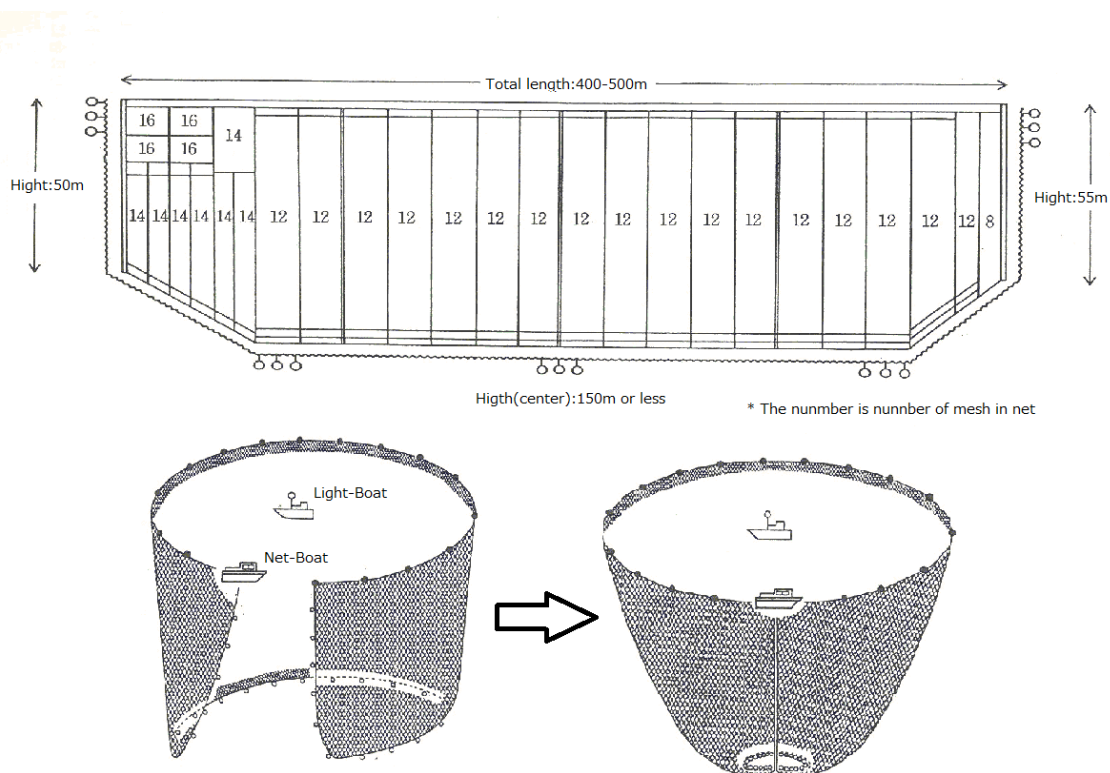


Figure 2-1. The structure and operation of purse seine fishing.

さらに Kasai et al. (2008) は、台湾近海の産卵場から東シナ海を北上するマアジ資源の加入の良否が、対馬暖流系のマアジ資源量を決定付けている可能性があることを指摘している。

マアジの生態特性について中川(1989)は、筑前海域での漁獲組成が若齢魚に偏っていることから、筑前海を含む当海域は0および1歳魚の来遊・滞留の場になると指摘した。また、山田(1969)は日本海での漁獲資料を基に、マアジ当歳魚は沿岸性が強く主に対馬暖流第1分枝(沿岸分枝)の流域に生息するとし、大部分は対馬東水道を通して日本海に来遊すると報告した。志村(2007)は、対馬海峡北側から山陰沖におけるマアジ幼魚の分布域が、対馬暖流の強さや冷水域の配置によって年々変化すること、すなわち大陸棚上の水深50 mにおける水温15-18°Cの海域の広がりマアジの沿岸漁場への加入量に大きく影響することを示した。さらに本研究の対象海域を含む日本海南西海域において、マアジ当歳魚の加入過程には海域の地理的特徴や水塊配置等の海洋環境が大きく影響し、漁場の水温分布によって漁場が集中分布や分散することが報告されている(志村ほか, 2009)。従って、本研究で対象とした玄界灘のマアジの漁況を予測するためには、来遊機構や漁場形成と対馬暖流の流動変化との関連性を検討に含める必要があると考えられるが、両者の関係の詳細については不明の点が多い。

俵ほか(1991)は、対馬東水道を間欠的に通過する暖水による玄界灘の水温の短期変動について、壱岐北方と沖の島での水温変動は同時であるのに対し、沖の島と小呂島付近の水温変動には差異が認められたことから、筑前海には暖水が遅れて到達することを指摘した。この対馬東水道に間欠的に現れる暖水は対馬暖流の影響を受けたものであり、マアジ漁場の形成位置と密接に関連している可能性がある。しかし、対馬海峡を流れる対馬暖流は厚さが薄く、流速は小さく、幅が狭く、さらには流路の屈曲が著しい。そのため対馬暖流の流況を捉えるには広域で頻度の高い観測が必要であるが(川合, 1974)、現実的な制約から海洋観測の頻度は月に1-2回程度が限界である。

一方、人工衛星 NOAA による熱赤外帯放射輝度を用いた海表面水温の観測(以下、衛星観測)は、雲等の影響で一部測定ができない日や場所を除けば、月に平均6回程度の計測が可能であり、漁場全体の海表面水温分布を同時に捉えることができる。また玄界灘における毎月の水温観測結果によれば、マアジ漁獲量が多い5月の海表面水温は衛星による測定値とほぼ一致している(安藤, 2002)。さらに2000-2004年にまき網漁船の漁場となる海域の中央部に設定した観測定点(Fig. 1-1に×で示した点)における5月の水温観測結果によれば表層と底層の水温差は、2001年の約2°Cを除き水温差は1°C程度と小さ

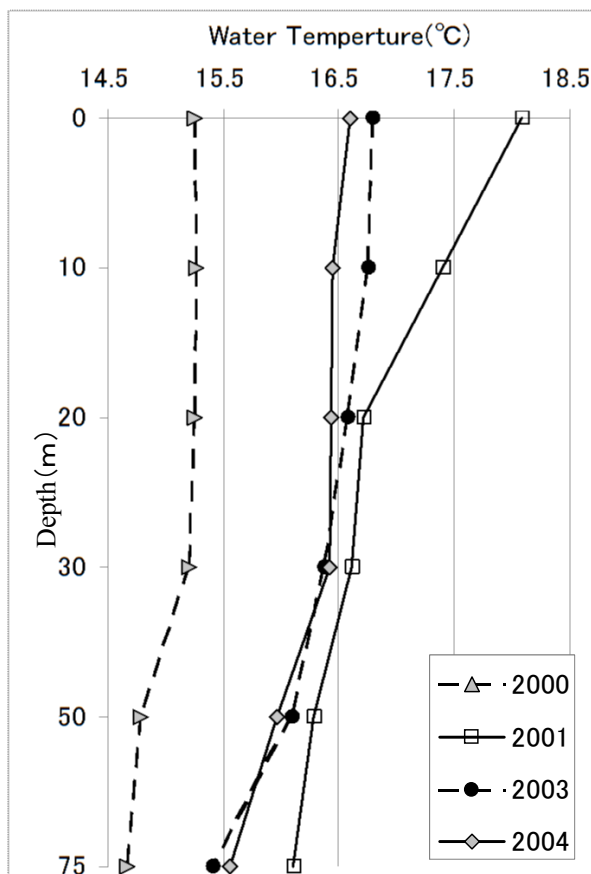


Figure 2-2. Water temperature profile in May at observation point.

い (Fig. 2-2). 従って、衛星観測による海域の海表面水温の測定結果は、この時期のまき網漁場の底層水温をほぼ反映していると考えられる。

そこで本研究では、衛星観測による水温データの利用が可能であり、かつマアジの漁獲量が多く漁業者の関心が最も高い操業開始期にあたる5月に着目して、中型まき網漁業によるマアジの漁況と海表面水温分布の解析を行い、マアジ漁場の漁場形成と海表面水温および対馬暖流の流動変化との関係を詳細に検討した。

2-2 材料と方法

2-2-1 年別の漁獲量と漁場位置の日別変化

福岡県宗像市の鐘崎漁業協同組合 (Fig. 1-1参照) は、玄界灘のまき網漁業で漁獲するマアジの約70% (2000-2005年平均) を漁獲していることから、1977-2005年に鐘崎漁業協同組合に所属する中型まき網漁船の日別、漁業種別、漁船別、魚種別の水揚げ量を記録した仕切り書を利用した。玄界灘で操業する鐘崎漁業協同組合所属の中型まき網漁船を含む5-9統に依頼した2000-2005年の日別操業記録を利用した。

仕切り書は、まき網漁業で漁獲されたマアジの漁獲記録を任意の期間毎に抽出し解析や集計が行えるように、所属組合、漁業種類、船名、魚種、水揚げ量の各項目について、日別にデータを整理した。

操業記録については、操業海域を緯度経度2分毎のメッシュに区分した区域を漁区として設定し、漁区毎の魚種別漁獲量を操業日毎に記録するよう依頼した。この各漁区の中央点の緯度経度を漁獲位置として解析を行うこととした。さらに漁場位置の離接岸の状況を把握するため、九州北岸の入り組んだ海岸線の平均的指標として、北緯33° 00' , 東経129° 00' と北緯34° 00' , 東経131° 00' を結ぶ直線を基準線として設定した (Fig. 1-1)。

緯度経度を10進法に換算した座標位置 (x, y) を求め、各漁獲位置の漁獲量 (z) で加重平均した日別の加重平均漁獲位置座標 (X, Y) を次式により算出した。そしてこの座標を再度60進法に換算して緯度経度として表した。

$$(X, Y) = (\sum (x \times z) / \sum z, \sum (y \times z) / \sum z)$$

上記の各日別加重平均漁獲位置から基準線までの直線距離を求め、各年5月についてその平均値と分散、標準偏差をそれぞれ算出した。

2-2-2 漁獲位置の水温

福岡県水産海洋技術センターにおいて、米国 SeaSpace 社の TeraScan 衛星受信解析システムにより自動受信した衛星 NOAA の AVHRR 信号を処理し、記録保存した海表面水温の衛星データを用いた。中型まき網の操業海域を含む北緯32° 48' -34° 48' , 東経129° -130° 30' に至る玄界灘の海域について、受信したデータから2000-2005年の各5月を対象に雲域の少ない好天時の受信データを選び解析に用いた。各年5月の解析に用いた観測日数は最大16日、最小4日であった (Table 2-1)。また雲による影響を避けるため、10°C以下のデータは計算から除いた。

これらの観測日とまき網の操業日が一致する衛星データを用いて、分単位で漁獲位置の緯度経度に該当する水温データを抽出し、その平均値を求めた。この各漁獲位置の水温と漁区毎の1隻1日当たりの漁獲量 (以下 CPUE) との関係解析した。さらに水温の水平傾度と漁獲量との関係を調べるため、緯度経度の分を単位として、各漁獲位置を中心に隣接した8方向の直近の緯度経度に該当する位置の水温を同様に求め、この水温と漁獲位置の水温の最大温度差を求めた。

Table 2-1. Observation day of NOAA satellite in 2000-2005.

年	月	日
2000	5	1 4 5 7 8 15 16 17 20 21 22 23 24 25 28 29
2001	5	11 12 13 14 15 16 17 31
2002	5	23 24 26 27
2003	5	9 17 20 22 27
2004	5	5 6 14 20 23 24 31
2005	5	2 3 4 10 11 14 15 16 20 26

2-2-3 水温分布の経年変化

衛星データを用いて5月の平均海表面水温を求めるため、1.1 km 単位の観測点毎に各観測日の値を平均した。漁獲位置の水温の場合と同様に、算出に際しては雲による影響を避けるため、10℃以下のデータは計算から除いた。この結果を用いて、各年5月の平均海表面水温の分布図を作成した。

この平均海表面水温分布から各年5月の玄界灘における対馬暖流の流動パターンを推定するため、対馬暖流が玄界灘に流入する対馬東水道および壱岐水道の海域に Fig. 1-1に示したように Line A-Dを設定した。すなわち、時間的に継続して対馬東水道に影響を与える暖水の水平スケール(約15マイル程度と想定)を考慮し、各ラインの間隔が24 km になるように設定することとし、Line A-Dは北緯34° と東経129° 00' , 129° 06' , 129° 12' , 129° 18' の各点を通り、上述の海岸線の基準線に直交する直線とした。海図上で Line A-D と基準線が直交する各点の緯度と経度を求め、これを用いて年毎に各ライン上基準線から1 km 単位で平均した水温計測結果を算出した。また、上記の平均水温を用いて、基準線から3区間(3 km)の移動平均値を求めた。なお、陸上部の衛星観測時における反射の影響を避けるため、九州北岸20 km および対馬沿岸域については対象から除外した。

2-3 結果

2-3-1 年別の漁獲量

福岡県の玄界灘を漁場とする中型まき網漁船は、毎年5-12月の8ヶ月間操業を行う。その代表漁協である鐘崎漁業協同組合の仕切り書から求めた2000-2005年の年間の漁獲量は、最も少ない2001年には477 t、最も多い2004年にはその5倍の3,419 t と変動が大きかった (Fig. 2-3)。中川(1989)は真子・濱田(1984)の成長式を基に、月毎に漁獲されるマアジの銘柄と年齢の関係を報告した。この関係に従えば、各年のマアジ銘柄別(体長別)

の漁獲割合 (Fig. 2-3) は、マメ・ゼンゴ・小銘柄の1歳魚が漁獲の主体をなしており、2歳魚以上とされる中、大銘柄の占める割合は低く、銘柄別の漁獲割合の年変動は見られなかった。また玄界灘におけるまき網漁業の2000-2005年の月別漁獲量 (Fig. 2-4) は、2000年を除き5月が年間で最も高く、平均で年間漁獲量の約23%を占める。さらに1997-2003年の漁業協同組合の仕切り書データから求めた各年5月の漁獲量と各年間漁獲量には強い正の相関(n=27, r=0.88, P<0.01)が認められた。これらの結果は、年間の漁獲状況を予測する上で5月は最も重要な月であるという現場の漁業者の指摘と一致している。

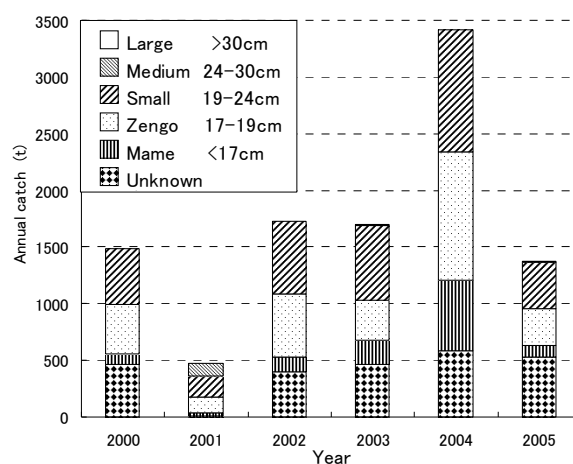


Figure 2-3. Annual catch by size class of the jack mackerel by purse seine fishing boats of Kanezaki Fisheries Cooperative Association in 2000-2005.

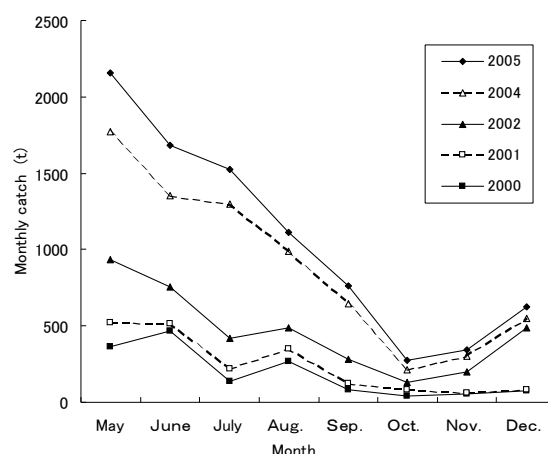


Figure 2-4. Monthly catch of the jack mackerel by purse seine fishing boats in 2000-2005.

2-3-2 漁場位置の漁獲量と日別変化

2000年, 2001年, 2002年および2004年に漁獲のあった漁区は, いずれも壱岐北東沖の海域に集中し, 北緯 $33^{\circ}45'$, 東経 $130^{\circ}5' - 20'$ を中心としてやや北東方向に広がっていた (Fig. 2-5-a). 2000年は漁獲量が20-40 t の漁区が分布の中心付近に点在し, 漁獲量40-60 t の漁区もみられた. 2001年は, 漁獲量20 t を超える漁区は見られず, 2002年は壱岐の北東沖と九州北部 $130^{\circ}20'$ 付近に漁獲量20 t を超える漁区があった. 2004年は分布の中心付近に漁獲量80 t を超える漁区があり, 周辺には40-60 t および20-40 t の漁区が点在していた.

一方, 2003年と2005年は, 九州北部沿岸海域から海域中央部の広い範囲に漁獲のあった漁区が分布していた. 漁獲量20 t を超える漁区は, 2003年は対馬東岸沖 $129^{\circ}50'$ 付近に一カ所存在するだけで, 2005年は周縁の海域に点在していた. 海域中央部全体には20 t 以下の漁区が広がり, 集中して漁獲された漁区は全くみられなかった. 各年5月の漁獲位置の分布状況 (Fig. 2-5-a) をさらに整理するため, 操業日毎の代表点として算出した日別加重平均漁獲位置の分布を Fig. 2-5-b に示した. 2000年, 2001年, 2002年, 2004年のマアジ漁場は壱岐北東海域に集中して分布し, 2003年, 2005年は壱岐の東側海域に広く南北に散らばって分布した. 各日別加重平均漁獲位置から基準線までの直線距離の月別平均値と分散を求めた結果を Table 2-2 に示した. 分散の値は, 壱岐北東海域に集中した2000年, 2001年, 2002年, 2004年は, 15.9-27.0であったのに対し, 壱岐の東側海域の南北に広く散らばった2003年と2005年の値は, それぞれ237.6および142.6と大きかった. つまり漁獲位置が, 集中(2000, 2001, 2002, 2004)と分散(2003, 2005)の二つのパターンに大別できることが分かった.

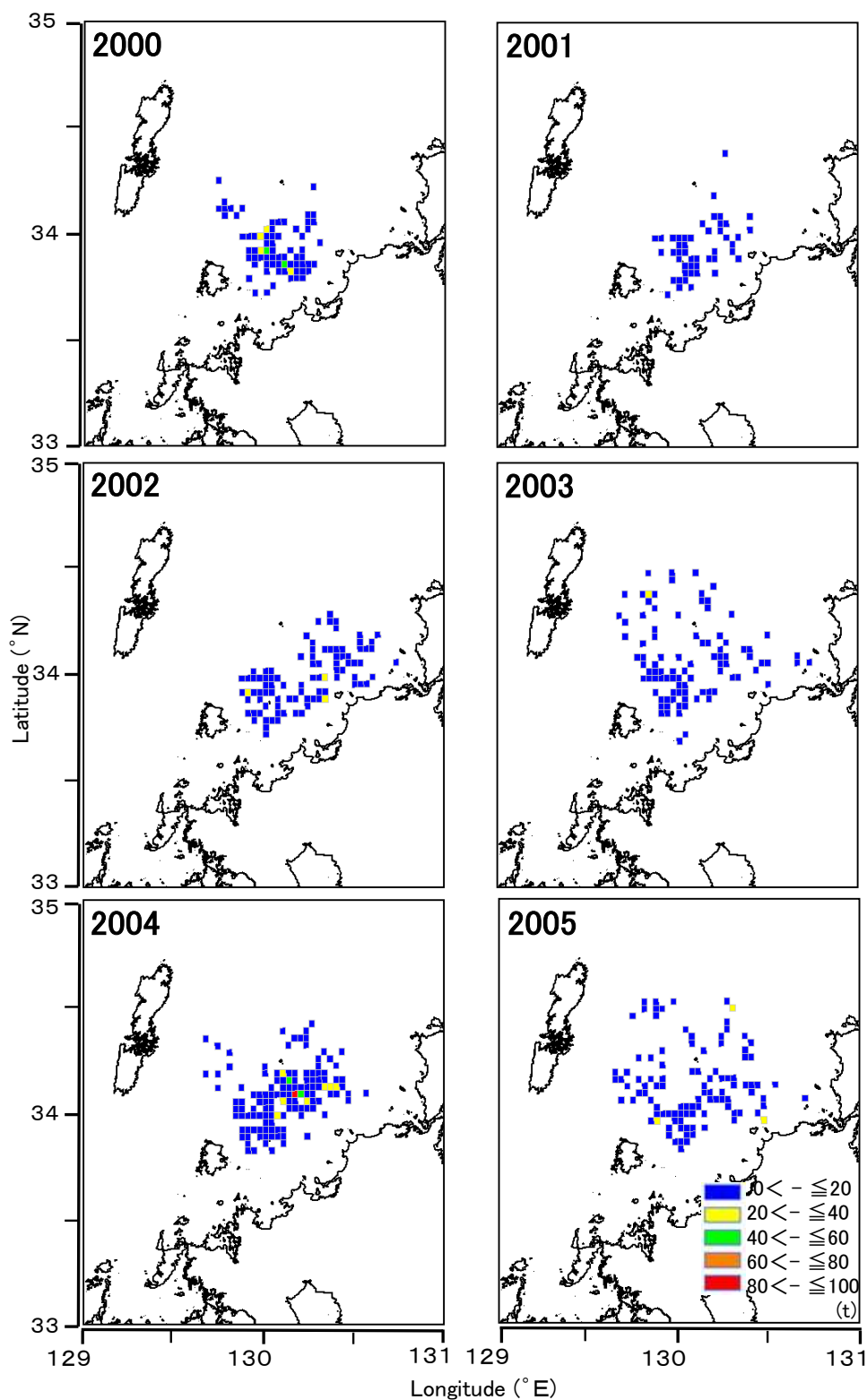


Figure 2-5-a. Positions of the fishing operation and the catch of jack mackerel at each position in May. Colored squares show catch (t) of the each position.

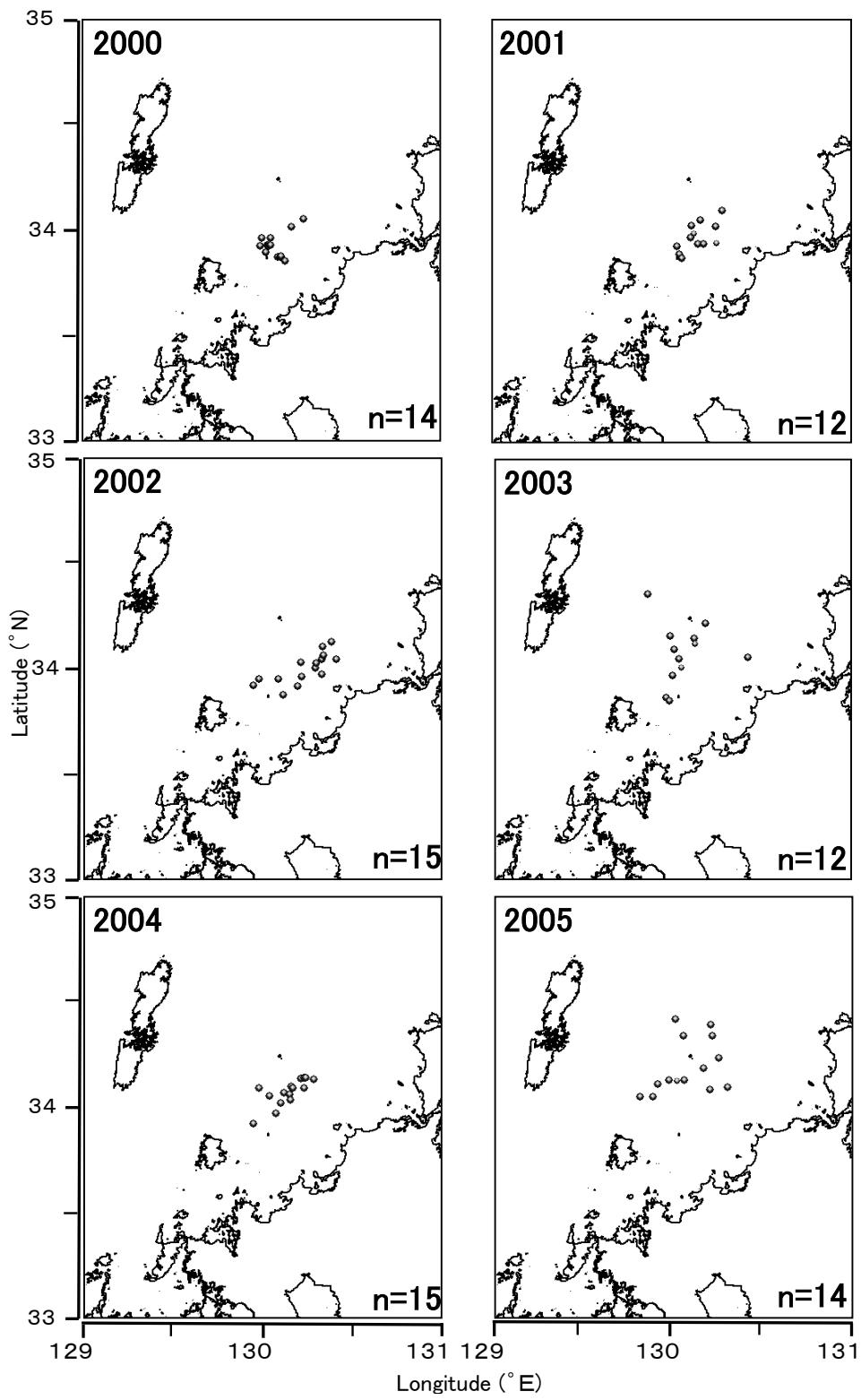


Figure 2-5- b . Daily average fishing positions weighted by the jack mackerel catch in May.

Table 2-2. Average and variance of the distance of the daily average fishing positions of jack mackerel fishing grounds in May (see the text for detail) from the base line (see Fig. 1-1) in May of 2000-2005.

Distance from base line (km)				
Year	Sample size (day)	Average	Variance (km ²)	
2000	14	36.4	27.0	
2001	12	37.0	24.9	
2002	15	35.6	24.1	
2003	12	51.3	237.6	
2004	15	46.8	15.9	
2005	14	61.4	142.6	

2-3-3 漁獲位置の水温

漁獲された位置で衛星による海表面水温の測定が行われた日が一致していた漁区数は、のべ249漁区であった。Fig. 2-6は、上記の各漁区のデータを基に、水温区分別の漁区数を示したものである。各年5月の操業海域（35° 30' N-34° 30' Nおよび129° 48' E-130° 48' E）の海表面水温の最低値は10.2-15.4℃，最高値は20.0-27.4℃で年により海表面水温の範囲は異なっていた。マアジが漁獲された漁場の海表面水温の範囲は、最も低い年で13.8℃から18.7℃，最も高い年で16.2℃から22.1℃と年により異なっていた。また各漁区の CPUE と水温との関連も認められなかった。さらに水温フロントの強さの指標として用いた漁獲位置の水温水平傾度と CPUE の間にも関連はなかった。

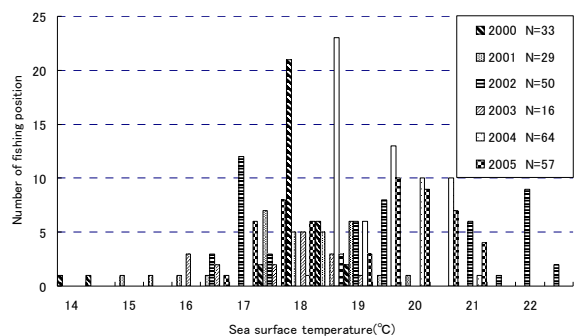


Figure 2-6. Number of the fishing position where the jack mackerel was caught for each sea surface temperature division in May of 2000-2005.

2-3-4 水温分布の経年変化

水温の分布を比べると2000-2002年と2004年は対馬東水道と壱岐水道の東方海域の沿岸部に比較的水温の高い水域(暖水域)が見られたのに対して、2003年と2005年は対馬東水道から九州北岸の沖合部に暖水域が見られ、壱岐水道や九州北部沿岸域には暖水域が全く見られなかった(Fig. 2-7)。対馬東水道および壱岐水道に設定した Line A-D 上の水温移動平均値(2-2-3を参照のこと)の各年の分布を Fig. 2-8にまとめて示した。2000-2002年と2004年はいずれも基準線付近からの水温上昇が著しく、2000年を除き離岸距離60 km 以内に最も高い値を示したのち、約80 km の水域から急激に低下していた。2000年に最も高い値を示した離岸距離は約68 km とやや遠いが、基準線付近からの水温上昇は急激であり、離岸距離50 km 付近ではほぼ最高値に近い値を示した。

一方、2003年、2005年に最も高い水温値を示した離岸距離は約90 km 以遠で、基準線からの水温上昇は緩やかであった。また水温が低下したのは離岸距離115 km 以遠であった。以上のことから、2000-2002年および2004年と2003年、2005年では、玄界灘に流入する対馬暖流の流動パターンが大きく異なっていたことが明らかとなった。すなわち、前者は九州北部沿岸に接岸するパターン、後者はその沖合を主に流動するパターンをそれぞれ示した。

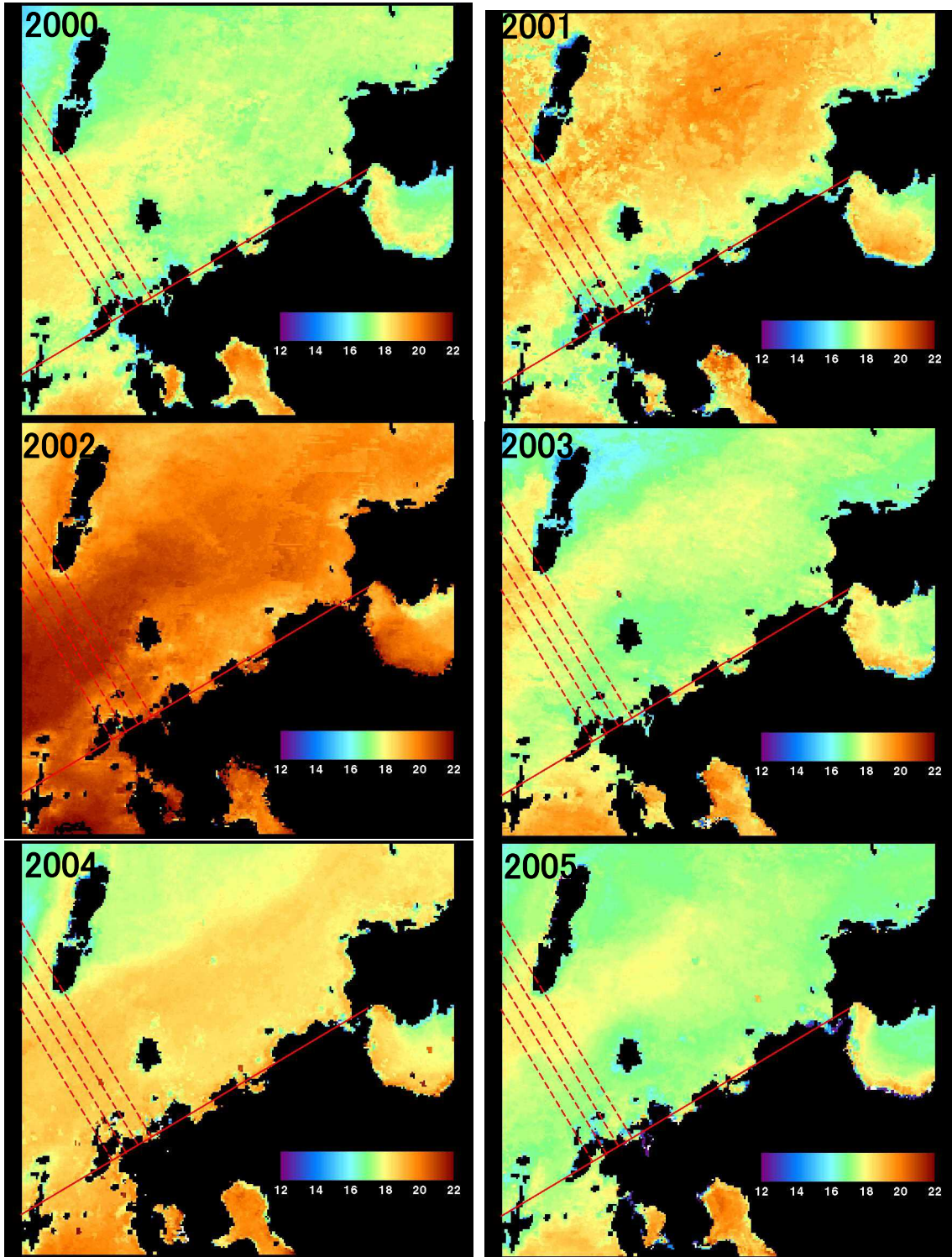


Figure 2-7. Distributions of the monthly average of sea surface temperature in May 2000-2005. The solid line is the base line and four broken lines perpendicular to the base line are used for the analysis on the spatial change in sea surface temperature. Colored bar in each panel indicates the temperature range in centigrade.

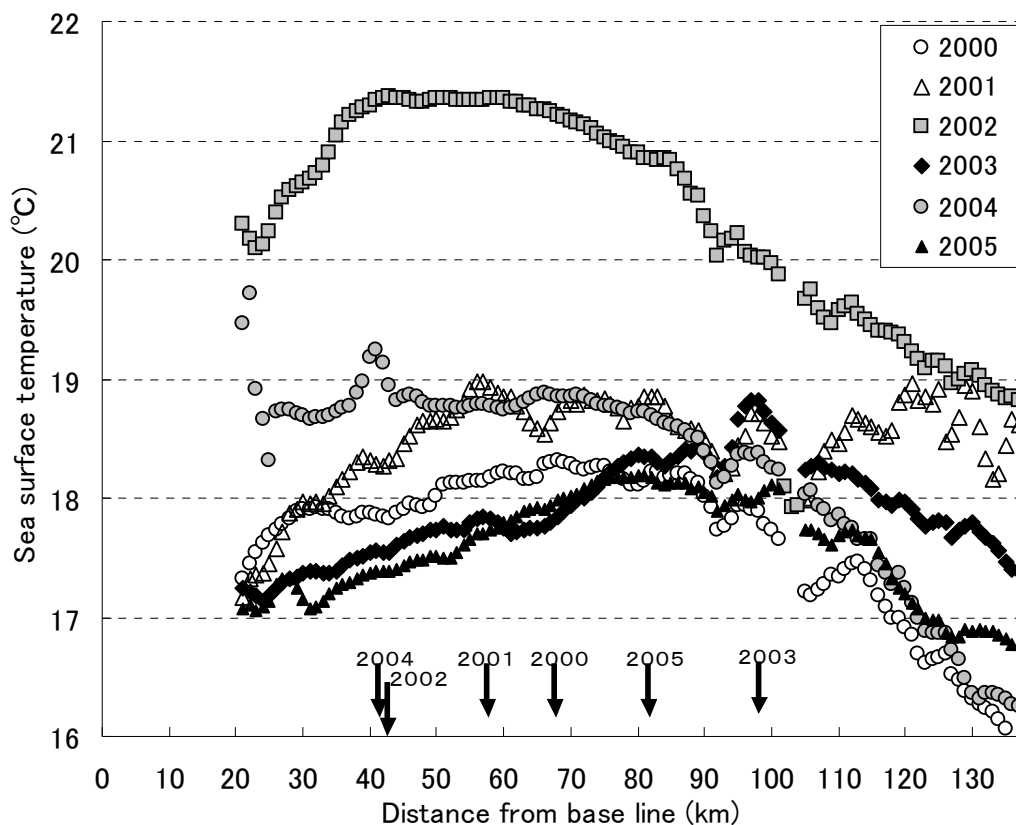


Figure 2-8. Spatial changes in the monthly average sea surface temperature along the lines A-D (see Fig.1-1). The vertical arrow indicates the location where water temperature was the maximum for each year.

2-4 考察

渡邊・安藤(2007)は、1949年から2004年まで55年間の調査結果を用いて、対馬東水道中央部と沿岸域における水温の長期変動と気象との関連を解析し、沿岸域の水温は気温よりも対馬東水道を通る対馬暖流の影響を大きく受けていることを報告している。従ってLine A-D上で相対的に水温が高い水域は、東シナ海から流入してきた対馬暖流の影響を受けた暖水であり、この暖水域が沿岸に近い場合には対馬暖流が対馬東水道と壱岐水道から玄界灘沿岸域に流れ込んでいる接岸パターン、沖合域に存在する場合には壱岐水道を通らず対馬東水道北部から玄界灘沖合に流入している離岸パターンを示すものと考えられる。

本研究で明らかとなった対馬暖流の流路パターンと年別の日別加重平均漁獲位置の分布パターンとを重ねて模式的に Fig. 2-9に示した。すなわち対馬暖流が接岸パターンであった2000年、2001年、2002年、2004年の漁獲位置は集中パターン、対馬暖流が離岸パターンであった2003年、2005年の漁獲位置は分散パターンにそれぞれ対

応した。

志村(2007)並びに志村ほか(2009)は、対馬暖流の流路変化に伴う島根県浜田沖から日御碕沿岸への冷水の張り出しとマアジの漁獲位置が密接に関連し、年により対馬海峡や隠岐海峡においてマアジが暖水域に集中的に分布する事を報告している。従って、本研究の結果は、対馬暖流が接岸パターンとなり沿岸域の水温が上昇した時にはマアジが沿岸近くに来遊するため漁場が沿岸近くに集中し、一方離岸パターンの場合には、沿岸域に比較的低温域が存在するためそれがマアジの接岸を妨げ、漁場が沖合に分散したことを示すものと考えられる。

秋元ほか(2000)は、福岡県の中型まき網漁船の操業記録と毎月の底層水温観測結果から、マアジの漁場が15°C以下と24°C以上の水域にはほとんど見られないことを示し、これらの水域はマアジの生息に不適であると推定した。玄界灘におけるマアジの漁況予測は、これまで漁場水温の解析結果のみを使用して行われてきたが、以上の結果を考慮すると従前の予測手法を再検討する必要がある。また、対馬暖流によるマアジ稚仔魚の輸送に関する

知見(佐々・小西, 2002 ; 依田ほか, 2004)や, その輸送過程における減耗のマアジ資源量への影響(Sassa et al., 2006; Kasai et al., 2008), さらには流れや冷水の分布等がマアジ幼魚加入に大きく影響するとの指摘(志村, 2007; 志村ほか, 2009)を考慮すると, 対馬暖流の挙動はマアジの漁況を予測する上で極めて重要であり, これまでの水温解析結果に対馬暖流の流動変化に関する情報を加えることにより, 漁況予測精度のさらなる向上が期待される.

対馬海峡を通過する水塊の特性について, Senjyu et al., (2008)は東西の対馬水道での長期データの解析と ADCP および HF レーダーによる観測結果から両水道の水塊は明確に異なること, さらに対馬東水道の水塊は東シナ海に由来し, 主に黒潮か台湾暖流に由来することを報告している. さらに河野(1993)は, ADCP 観測と毎月の定線観測のデータから, 対馬海峡における通過流

量は年によって異なる季節変化を示すこと, また滝川(2003)は博多と厳原間の水位差ならびに ADCP 観測結果を用いて, 東西の対馬水道における流量の配分は長期変動を示すことをそれぞれ報告している. 従って, 対馬東水道を通過して玄界灘に流入する対馬暖流の流量は, 東シナ海における流れの変動の影響もあり毎年一定ではない. 今後, 玄界灘における対馬暖流の流路変化が予測可能となれば, マアジ漁場の分布パターンを予察し効率的な漁場探査を行うことが可能になる. 本研究では, 衛星観測データを利用することにより対馬暖流の流動パターンの変化を明らかにすることができた. 船舶だけでは広い海域を頻度高く観測することは現実的に困難であり, 日々変化する対馬暖流の総観的な観測を行うためには, 衛星観測を活用することが有効な対処方法の一つであると考えられる.

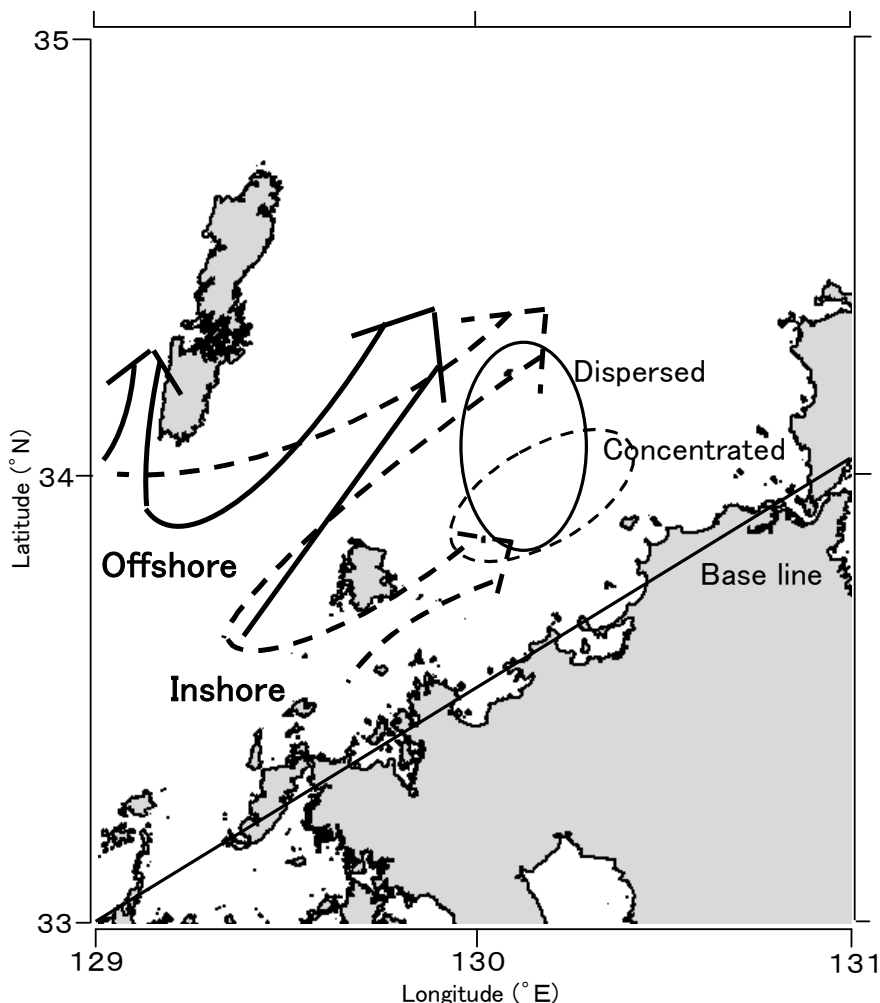


Figure 2-9. Schematic view on the fishing ground formation of the Jack mackerel in the Sea of Genkai in relation to the flow patterns of the Tsushima Warm Current.

第3章 玄界灘で産卵するケンサキイカの漁場形成における対馬暖流の影響

3-1 はじめに

九州北部では、九州北西沿岸域に多く分布するケンサキイカ *Photololigo edulis* を対象とした小型いか釣り漁業を営む漁家が多く(河野ほか, 1990), 対馬東水道と筑前海を含む玄界灘(Fig. 1-1)の沿岸漁業における重要な魚種の一つとなっている. 本種は、主にいか釣り漁業により漁獲される他、まき網や船曳網等でも混獲されている.

日本海南西沿岸域に來遊する本種の群成熟率には春、夏2回のピークがあり、春の成熟群の産卵場は30-50 m の水深帯に形成され、100-120 m の水深帯にも形成される可能性があると考えられている(森脇, 1994). 九州北

西沿岸域では、春から夏に各地で産卵が行われ(田代, 1977; 田代ほか, 1976), ケンサキイカ資源は複数の産卵群で形成されていると考えられている(荒巻ほか, 2005a). また、水槽を用いた飼育実験から、本種は流速の速い砂質の場所を選択して卵塊を産み付けると考えられている(荒巻ほか, 2005b).

森脇(1994)は、九州北西沿岸域における本種には、春季、夏季、秋季にそれぞれ出現する3つの群が存在し、これらをふ化時期、成熟群の出現状況および形態学的特徴の相違から異なる集団と考えたが、夏苺ほか(1986)は、これらの群は生活環境の違いから生じたものであり、遺伝的には同じ集団と推定している. いずれにしても、春季成熟群とは出現状況や形態学的特徴が異なる秋季の未成熟群の生活史については不明な点が多い.

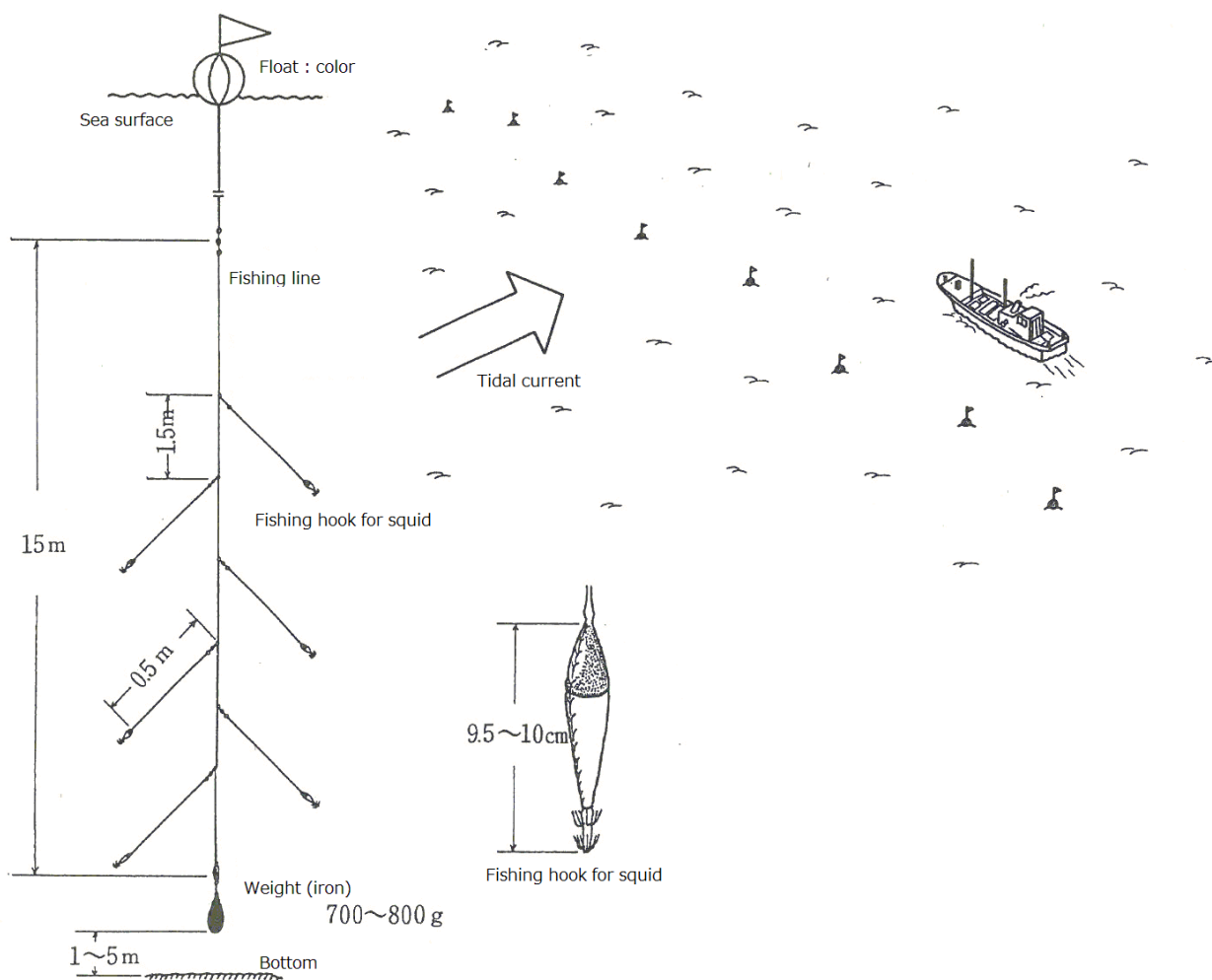


Figure 3-1. The gear and operation of squid fishing ("Tarunagashi")

福岡県の玄界灘を漁場とするいか釣り漁業は、1980年まで隣接する山陰沿岸域と同様に4-12月の9ヶ月間操業されていた(小川ほか, 1982)。その後、福岡県沿岸域では12-2月の冬季に縦縄式の樽流し漁法(Fig. 3-1)が漁業者の発案により導入され、周年操業されるようになった(河野ほか, 1990)。

本研究では集魚灯を利用した漁法と樽流し漁法によるいか釣りを含めて以下「いか釣り漁業」と称することとした。

また近年、活魚運搬技術の開発に伴う佐賀県唐津市呼子町におけるブランド化の成功により、本種は付加価値の高い漁獲物となっている。このように新たな漁法による漁期の周年化と消費需要の増加により、本種を対象とする漁獲努力量が高まったことを受けて、本種の資源管理の必要性が提言されている(河野, 1997)。しかし、資源管理の基礎となる九州北西沿岸域の資源量推定は、本種の寿命が1年でしかも個体の成長差が著しいことから、現状では困難な課題となっている(新谷, 1988; Natsukari et al., 1991)。その一方で、スルメイカ資源については2000年代に研究が急速に進展し、資源量の推定とそれに基づく資源管理の手法が実用化されている。今後本種についても、科学的な知見が蓄積され、資源量の推定など資源管理の実践に向けた基礎研究が進展することが期待されている。さらに河野(2007)は、本種の資源評価と漁海況予測を適正に実施するための研究課題として、各季節群の生活史の解明や分布および加入初期の資源豊度の評価精度向上を挙げ、そのためには漁場での本種の分布実態の把握がまず必要であると指摘している。その意味でも、九州北西沿岸域における本種を対象としたいか釣り漁業の漁場形成の要因を解明することは、極めて重要な課題と考えられる。

そこで本研究では、第2章で述べたマアジの場合と同じく、玄界灘でいか釣り漁業によって漁獲されるケンサキイカを対象として、その漁場分布や漁場形成の年々の変化と、人工衛星によって観測された海表面水温の分布や、それを用いて推定された対馬暖流の流況との関連を検討することを目的とした。マアジの事例と同様に、2000-2004年にいか釣り漁船の漁場となる海域の中央部に設定した観測定点(Fig. 1-1に×で表示)における4月の水温観測結果によれば表層と底層の水温差は0.02-0.78℃と極めて小さく(Fig. 3-2)、衛星観測による海域の海表面水温の測定結果は、この時期のいか釣り漁場の底層水温をほぼ反映していると考えられる。近年インターネットをはじめとする情報基盤の進展・普及により、衛星観測と同時に実時間処理された測定結果が容易に入手できるようになっており、その情報をもとに対

馬暖流の流路変動の状況を推測することが可能である。

また衛星観測は気象の影響を受けるが、梅雨期前の4-5月の玄界灘では、比較的良好な観測結果が得られる。玄界灘では四季を通じてケンサキイカが漁獲されているが、漁場が形成される海域の傾向は時期によってそれぞれ異なる。漁獲量は例年4-9月に多く、産卵期に伴い主に九州北岸沿岸域に漁場が形成されると考えられており(古田, 1978)、この時期はいか釣り漁の盛漁期と言える。このため漁業現場からは、可能な限り早期に盛漁期の漁況を予測することが強く求められている。

本研究では、上記の理由から各年の盛漁期が始まる春季のケンサキイカ漁況について、マアジの場合と同様の研究手法を用いた解析を行い、対馬暖流の流路変動との関係を解析した。また比較のため産卵期でないと考えられ、衛星観測のデータが利用可能な11月についても同様の解析を行い、周年にわたる漁場形成の要因を考察した。

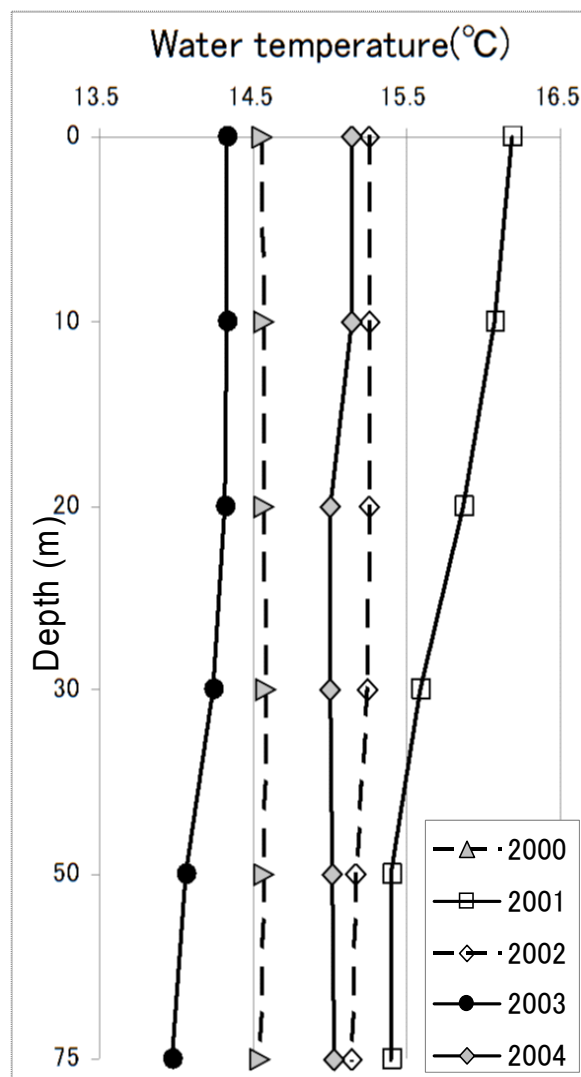


Figure 3-2. Water temperature profile in April at observation point.

3-2 材料と方法

3-2-1 年別の漁獲量と漁場位置の日別変化

玄界灘のいか釣り漁船が所属する漁業協同組合で漁獲量が最も多く全体の39%を占める鐘崎漁業協同組合 (Fig. 1-1参照) の1977-2005年における日別、漁業種類別、漁船別、魚種別の水揚げ量を記録した仕切り書からケンサキイカの漁獲データを抽出した。樽流し漁法が定着した1991-2005年の水揚げ記録をもとに、所属するいか釣り漁船の各年4月のケンサキイカ漁獲量と4-9月の漁獲量の関係を調べたところ、両者には強い相関 ($n=15$, $r=0.771$) が認められたので、4月の漁況は、その後の盛漁期全体の漁況と関連が深いと考え、本研究では各年4月を解析の対象とすることにした。

また、漁区別の日別漁獲量の解析には、玄界灘で操業するいか釣り漁船9-19隻に依頼した2000-2005年の日別操業記録を利用した。操業記録については、対象海域を緯度経度2分毎の漁区に区分し、各漁区における魚種別漁獲量を操業日毎に記録するよう依頼した。漁場位置の解析並びに漁場位置の離接岸状況や分散状況の解析には、それぞれマアジの場合と同様の方法を用いた (2-2-1参照)。

3-2-2 漁獲位置の水温

いか釣り漁船の操業海域を含む北緯 $32^{\circ} 48' - 34^{\circ} 48'$ 、東経 $129^{\circ} - 130^{\circ} 30'$ に至る玄界灘の海域における衛星観測データ (詳細については2-2-2を参照のこと) から、2000-2005年の各4月と11月を対象に、雲域の少ない好天時の受信データを解析に用いた。各年4月の解析に用いた観測日数は、4-8日であった。同じく11月の解析に用いた観測日数は、4-14日であった (Table 3-1)。

なお、2000年4月の月上旬、2002年の4月の下旬および2003年11月の下旬は、天候不良のためデータが得られなかつた。

Table 3-1. Observation days of NOAA satellite in 2000-2005.

Year	Month	Day
2000	4	10 16 22 23 29
	11	4 5 6 7 8 9 10 11 12 24 26 27 28 29
2001	4	3 8 12 14 16 18 22 26
	11	3 12 20 21 22 23 30
2002	4	4 12 13 18
	11	5 9 12 28
2003	4	5 6 15 16
	11	2 7 15 16 17
2004	4	2 5 8 9 14 20 21 28
	11	6 8 9 12 21 23 24 25 30
2005	4	4 13 21 23 26 27
	11	3 4 6 7 8 10 12 18 21

また、また雲による影響を避けるため、マアジの場合と同じく 10°C 以下の観測値は計算から除いた。

これらの観測日といか釣り漁船の操業日が一致する時の衛星データを用いて、漁獲位置の緯度経度に該当する水温データを緯度経度の分単位で抽出しその平均値を求め、各漁獲位置の水温と漁区毎の1隻1日当たりの漁獲量 (以下 CPUE) との関係を解析した。また緯度経度の分単位で、各漁獲位置を中心に隣接した直近8方向の水温の水平傾度を求め、その最大値を水温フロントの強さの指標として用いた。

3-2-3 水温分布の経年変化

衛星データを用いて4月と11月のそれぞれについて1.1 km 単位の観測点毎に観測値を平均して、各年4月と11月の平均海表面水温の分布図を作成した。なお、漁獲位置の水温の場合と同様に、算出に際しては雲による影響を避けるため、 10°C 以下の観測値は平均から除いた。また、この平均海表面水温分布から各年4月と11月の玄界灘における対馬暖流の流動パターンを推定するため、マアジの場合と同じく対馬東水道および壱岐水道に設定した Line A-D (Fig. 1-1) の各ライン上で基準線から1 km 単位で平均した水温値を各年について算出した。これを用いて、基準線から3区間 (3 km) の移動平均値を求め、対馬暖流の流入状況等の検討に用いた。なお、衛星観測時における陸上部の反射の影響を避けるため、九州北岸20 km および対馬沿岸域は上記の計算から除外した。

3-2-4 成熟状態の時期による変化

漁場に出現するケンサキイカの成熟度合およびその季節的变化を明らかにするために、鐘崎漁業協同組合に水揚げされたケンサキイカを、2004-2007年に原則月1回、約35個体を採取した。雄の精莖囊と雌の輸卵管腺内の熟卵の有無を観察し、成熟状態の個体の割合を求めた。

3-3 結果

3-3-1 年別の漁獲量

鐘崎漁業協同組合の仕切り書から求めた1977-2005年の年間の漁獲量は、樽流し漁法が導入された1982年以降、緩やかな増加が見られ、1992年から1995年にかけて極大値を示した後に緩やかに減少した。最も少ない1983年には73 t、最も多い1992年には260 tと経年的に大きな変動がみられた (Fig. 3-3-a)。

いか釣り漁業の2000-2005年の月別漁獲量 (Fig. 3-3-b) は、各年概ね集魚灯を用いた夜間の操業が本格化する5月から7月の春季から夏季にかけて漁獲量が増え、その後秋季に向けて減少するが、年によっては秋季から冬季にかけてあるいは冬季に漁獲量が増加する年も見ら

れ、周年の漁獲量の動向は一定ではなかった。

なお、標本船の記録から、毎年概ね5月から10月は集魚灯を用いた夜間の操業が主体で、それ以外の期間は昼

間の樽流し漁法による操業が行われていることが分かった。

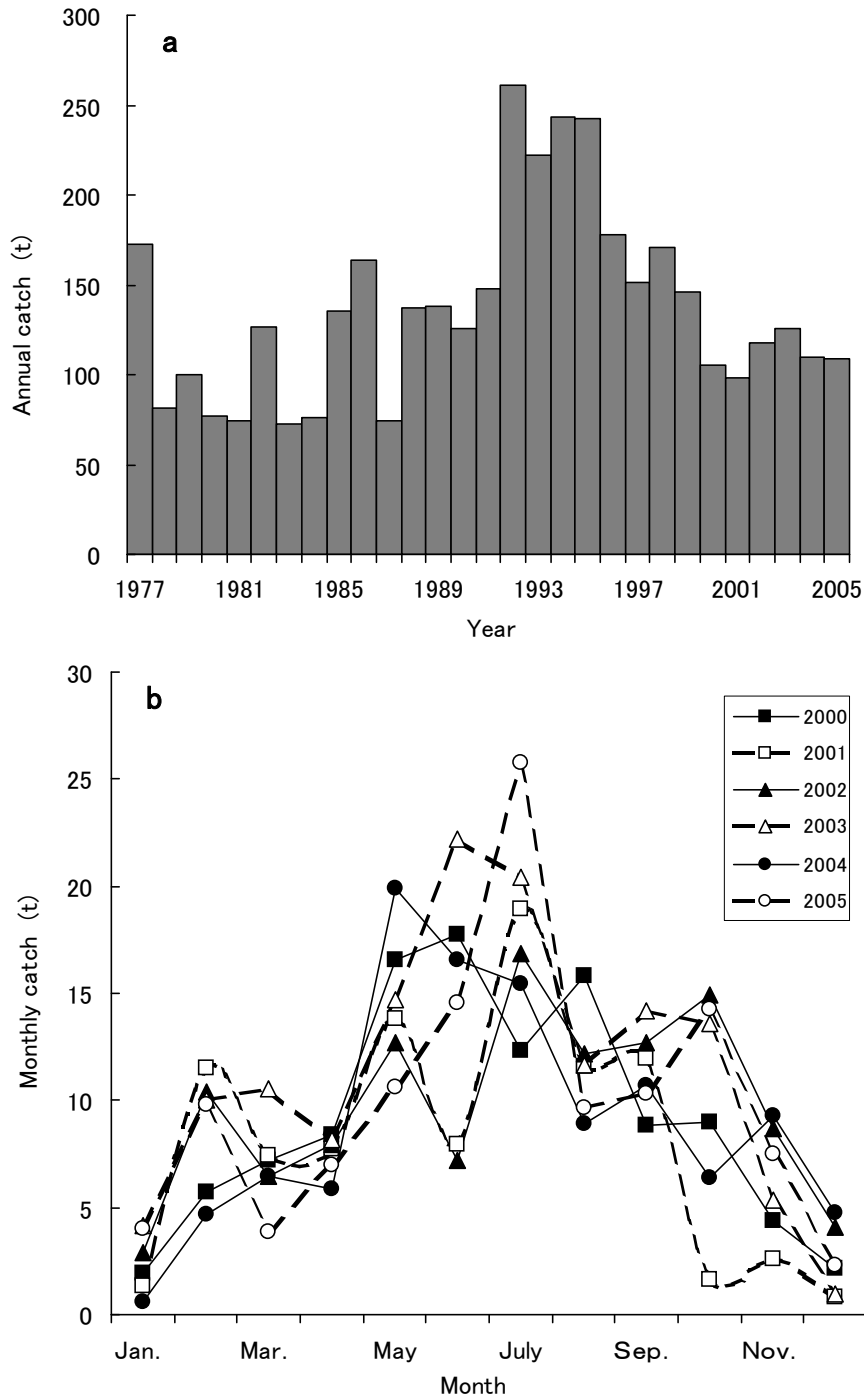


Figure 3-3. (a):Annual catch of the swordtip squid by squid fishing boats of Kanezaki Fisheries Cooperative Association in 1977-2005. (b): Monthly catch of the swordtip squid by squid fishing boats in 2000-2005.

3-3-2 4月の漁場位置の漁獲量と日別変化

2000年、2004年の4月にケンサキイカが漁獲された海域は北緯34°以南の沿岸付近から北緯34°以北、東経130°以東まで拡がり、80 kgあるいは160 kg以上漁獲された漁区が点在した。2004年は海域中央に320 kgを超える漁区があった。2002年は他の年と異なり、北緯34°以南の沿岸付近を中心に漁場が点在し、漁獲量が160 kgを超える漁区は見られなかった。2001年、2003年および2005年には、80 kgあるいは160 kg以上漁獲された漁区が点在し、いずれも北緯34°以北の東経130°を中心に拡がり北緯34°以南の沿岸付近では漁獲は少なかった。2005年は240 kgから320 kg漁獲された漁区が海域中央に見られた(Fig. 3-4-a)。

各年4月の漁獲位置の分布状況(Fig. 3-4-a)をさらに整理するため、操業日毎の代表点として日別加重平均漁獲位置を算出し、その分布を Fig. 3-4-b に示した。2000年、2004年、2005年は東経130°を中心にケンサキイカの漁場が広がっていた。漁場は、2000年は南北方向に

沿岸付近まで分布していたが、2004年および2005年は主に北緯34°以北の海域に限られ、ごく一部が北西から南東方向に向けて分布していた。

一方、2001年と2003年は北緯34°以北の海域で南西から北東方向に伸びる比較的狭い海域に漁場が分布し、2002年は北緯34°以南の九州北部沿岸域にほとんどの漁獲位置が集中していた。各日別加重平均漁獲位置から基準線までの直線距離の月別平均値と分散を求めた結果、東経130°を中心に漁場が分布した2000年、2004年、2005年の平均値(km)は47.0-69.7、分散(km²)の値は、144.1-188.1であったのに対し、南西から北東方向に漁場が分布した2001年と2003年、沿岸付近に漁場が分布した2002年の平均値(km)は20.7-67.8、分散(km²)の値は、52.0-66.1と小さかった。すなわち、沿岸からの距離を尺度とした場合、漁獲位置は沿岸からの遠近に関わらず、分散(2000, 2004, 2005)と集中(2001, 2002, 2003)の二つのパターンに大別された。

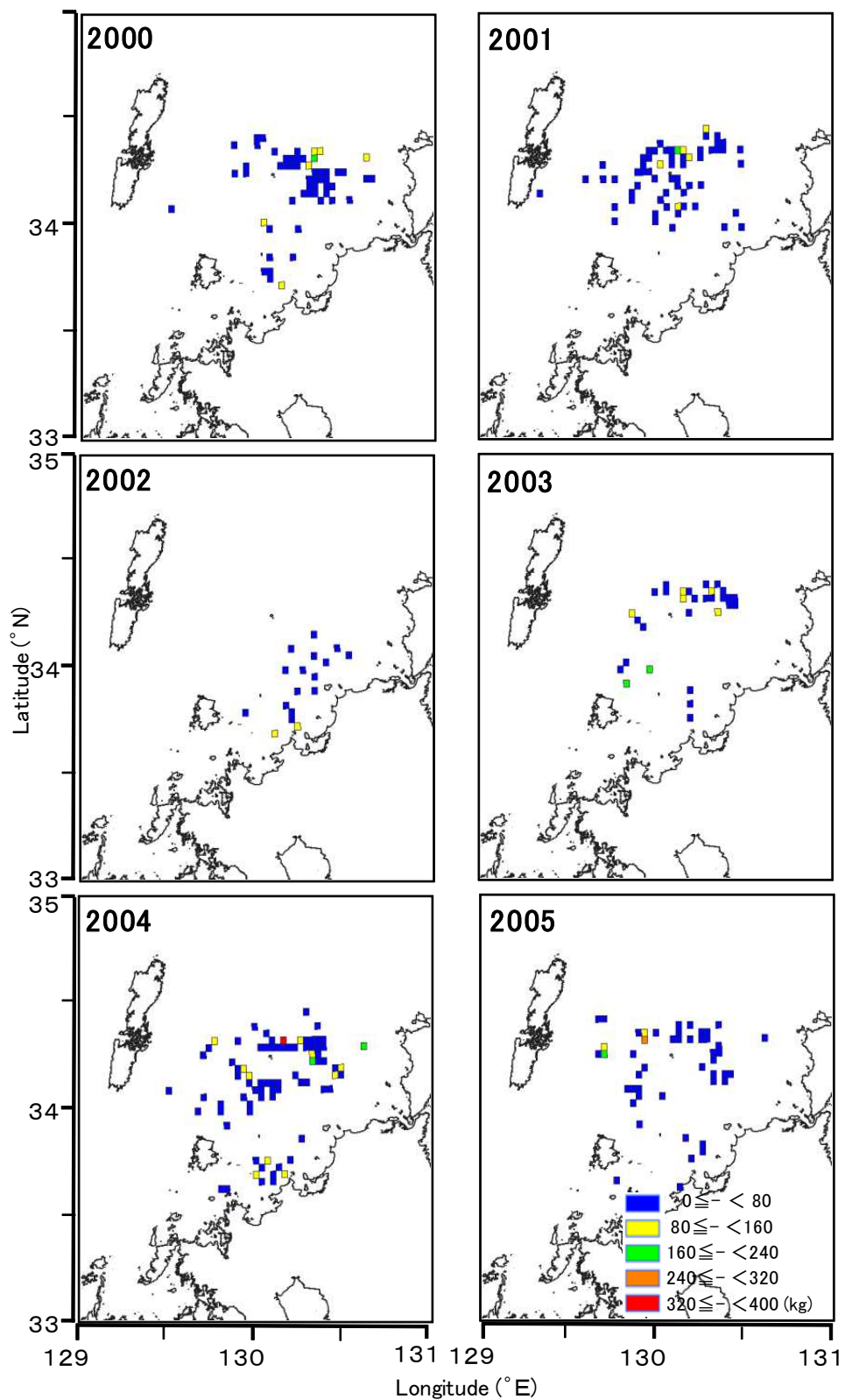


Figure 3-4-a. Positions of the fishing operation and the catch of swordtip squid at each position in April. Colored square indicates the catch (kg) at each position.

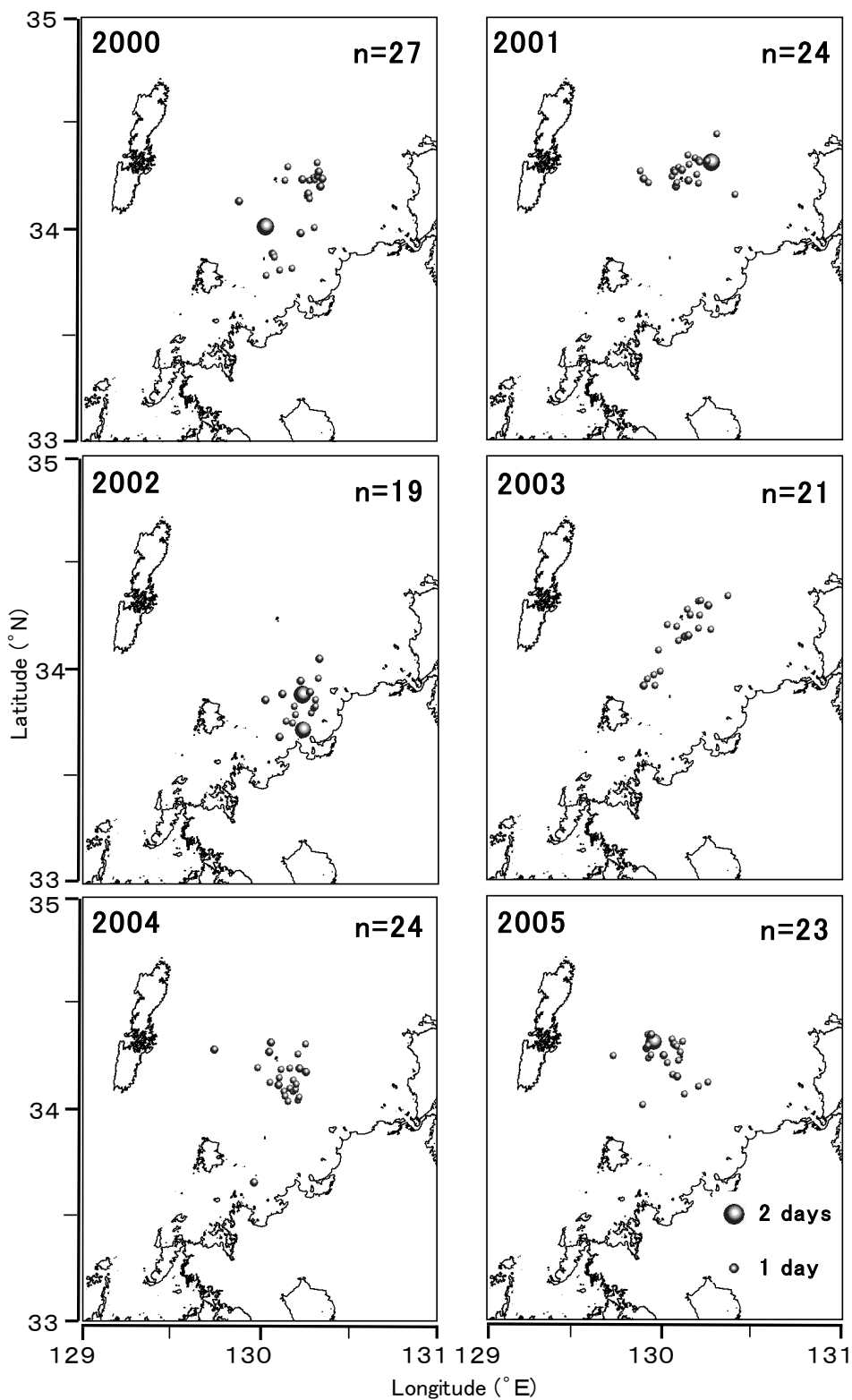


Figure 3-4-b. Average fishing positions weighted by daily catch of the swordtip squid in April 2000-2005. Larger dots denote that the fishing position was estimated twice at the same location. Total number (n) of the fishing positions for each year is indicated in each panel.

3-3-3 11月の漁場位置の漁獲量と日別変化

11月にケンサキイカが漁獲された海域は、いずれも北緯34°以北であった。2000年、2001年、2004年、2005年の漁場は東西に広がり2005年は240 kg以上漁獲された漁区が点在した。2002年は、海域中央に漁場が集中していたが、漁獲量が160 kgを超える漁区は見られなかった。2003年は、南西から北東方向に漁場が広がり240 kg以上漁獲された漁区も見られた (Fig. 3-5-a)。

4月と同様に操業日毎の代表点として日別加重平均漁獲位置を算出し、その分布を Fig. 3-5-b に示した。11月の漁場分布状況は、4月に比較して相対的に分散が小さく、いずれの年も北緯34°以北、東経130°から130°30′の沖ノ島周辺海域に偏って分布する傾向を示した。特に2002年の分布は他の年に比べて集中する傾向が顕著であった。4月と同様に各日別加重平均漁獲位置から基準線までの直線距離の月別平均値と分散を求めた結果、平均値(km)は、61.0-75.7と4月に比べ変動は小さかった。また分散(km²)は、4月に比べて全体に小さく、すべて100以下の値であり、2002年は29.5と最も小さかった。

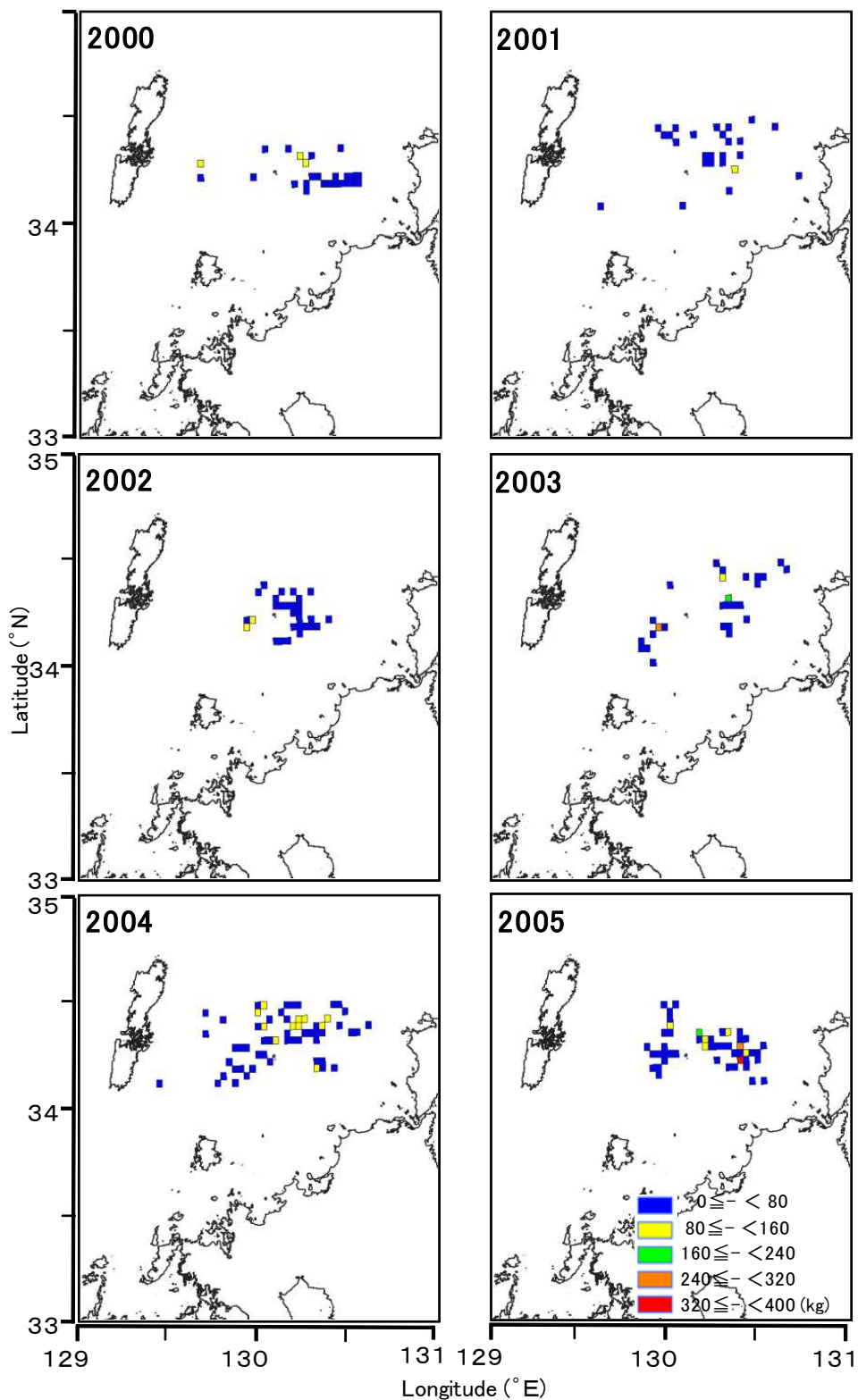


Figure 3-5-a. Positions of the fishing operation and the catch of swordtip squid at each position in November. Colored square indicates the catch (kg) of each position.

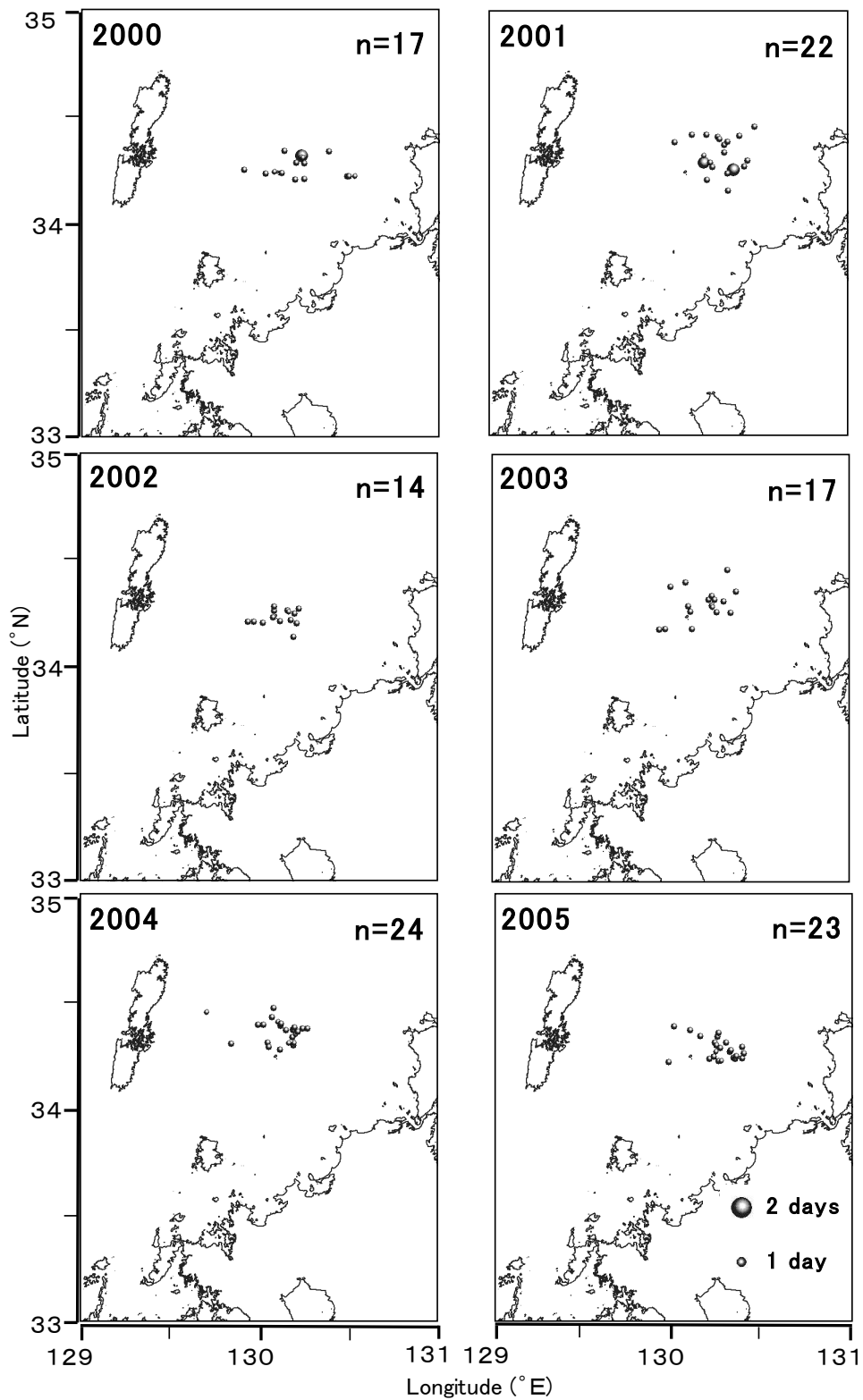


Figure 3-5-b. Average fishing positions weighted by daily catch of the swordtip squid in November 2000-2005. See the legend of Fig. 3-4-b for details.

3-3-4 4月および11月の水温分布と漁場位置の関係

漁獲された位置で衛星による海表面水温の測定が結果が得られた4月の漁区数はのべ87漁区、11月は108漁区であった(Fig. 3-6)。各年4月の海表面水温の最低値は10.3℃、最高値は24.5℃であったが、4月にケンサキイカが漁獲された漁場の海表面水温は2漁区を除き14.0-17.5℃に限られていた。一方、11月の海表面水温の最低値は10.4℃、最高値は24.9℃であり、水温範囲は4月と同様であった。しかしながら、11月にケンサキイカが漁獲された漁場の海表面水温は2漁区を除き20.5-24.5℃であり、4月の漁場の水温範囲とは全く異なっていた。

4月にケンサキイカが漁獲された漁場の海表面水温が、14.0-17.5℃に限られていたので、いか釣り漁業が操業された同日の衛星観測結果を用いて操業日毎に主にいか釣り漁業が操業される北緯33° 30′ から34° 30′ および東経129° 48′ から130° 48′ の海域で海表面水温が14.0-17.5℃の水域の面積を算出した。衛星 NOAA の観測結果は幾何補正により1.1×1.1 km²単位で処理されてい

るので、集計した測点数を1.21倍することによって面積に換算した。なお、2002年は、操業日と観測日が一致する日が1日のみであったので、操業日の翌日の衛星観測結果も併せて用いた。

その結果、ケンサキイカの漁場が分散した2000年、2004年および2005年には、海表面水温14.0-17.5℃の海域面積の各年の平均値は82,442 km²以上であったのに対して、漁場が集中した2001年、2002年および2003年の平均値は64,213 km²以下であった(Table 3-2)。

なお、水温フロントの強さの指標として用いた漁獲位置の水温水平傾度と CPUE との回帰分析の結果は、4月が R²=0.018、11月が R²=0.003であった。また、4月の水温水平傾度(℃)の最大値は8.3、最小値は0.0で分散は0.8であった。同じく11月は水温水平傾度(℃)の最大値は0.9、最小値は0.0で分散は0.03であった。4月と11月のいずれの場合も漁獲位置の水温水平傾度と CPUE に関連は認められなかった。

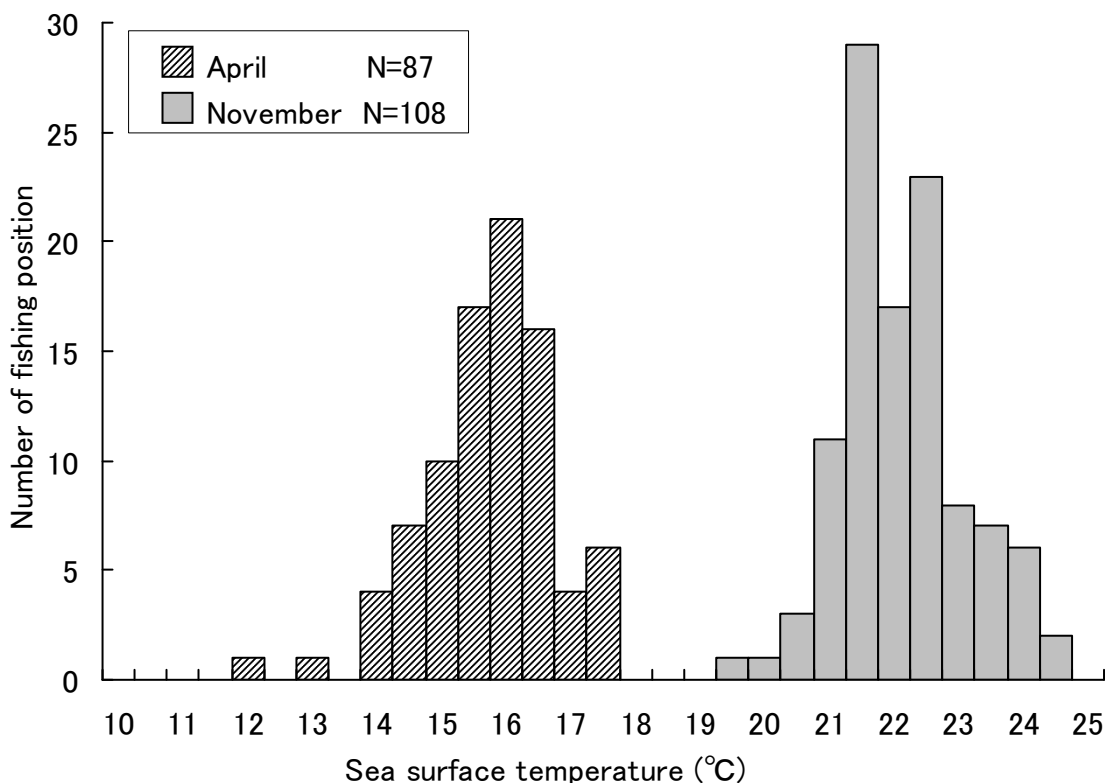


Figure 3-6. Number of the fishing position where the swordtip squid was caught for each sea surface temperature division in April and November, respectively. N: Total number of the fishing position.

Table 3-2 Average area (km²) of the sea surface temperature ranged from 14.0-17.5 °C in April for 2000-2005. The area was estimated within the Swordtip squid fishing ground (33°30' 00-34°30' 00 and 129°48' 00-130°48' 00).

Year	Sample days	Average area (km ²)
2000	5	88,510
2001	7	53,909
2002	4	61,535
2003	3	64,213
2004	7	86,595
2005	4	82,442

3-3-5 4月の水温分布の経年変化

各年の水温の分布を比べると2001年と2003-2005年は対馬東水道に水温の比較的高い水域(暖水域)が見られたのに対して、2000年と2002年は対馬東水道から九州北岸沿岸部まではほぼ均一な水温分布を示した(Fig. 3-7).

対馬東水道および壱岐水道に設定した Line A-D(Fig. 1-1参照)上の各年4月の水温を移動平均した値(3-2-3参照)を Fig. 3-8にまとめて示した。2000年、2002年および2004年はいずれも離岸距離25-70 km までに高い値を示した後、沖合へ向けて急激に水温は低下した。一方、2001年、2003年および2005年は基準線付近から沖合へ向けて水温は徐々に上昇し、離岸距離80-90 km を境に低下した。

これらは、沖合域に比べ沿岸域の水温が高い2000年、2002年および2004年と、沿岸域の水温が低く、離岸距離80-90 km 付近で最も高い水温が見られる2001、2003年および2005年では、玄界灘に流入する対馬暖流の流動パターンが大きく異なっていたことを示唆している。

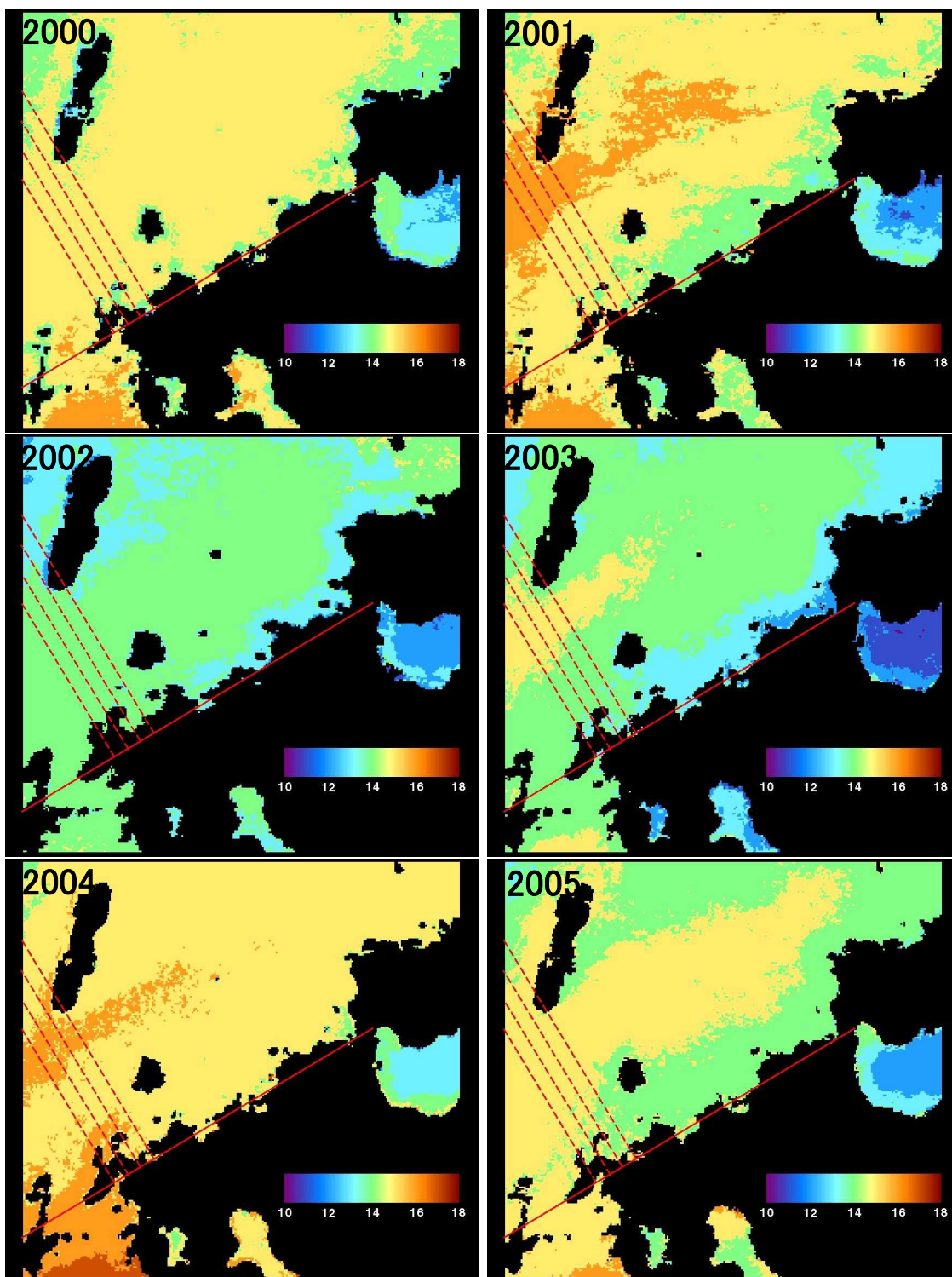


Figure 3-7. Distributions of the monthly average of sea surface temperature in April 2000-2005. Colored bar in each panel indicates the temperature range in centigrade. See Fig. 1-1 for solid and broken lines in the figure.

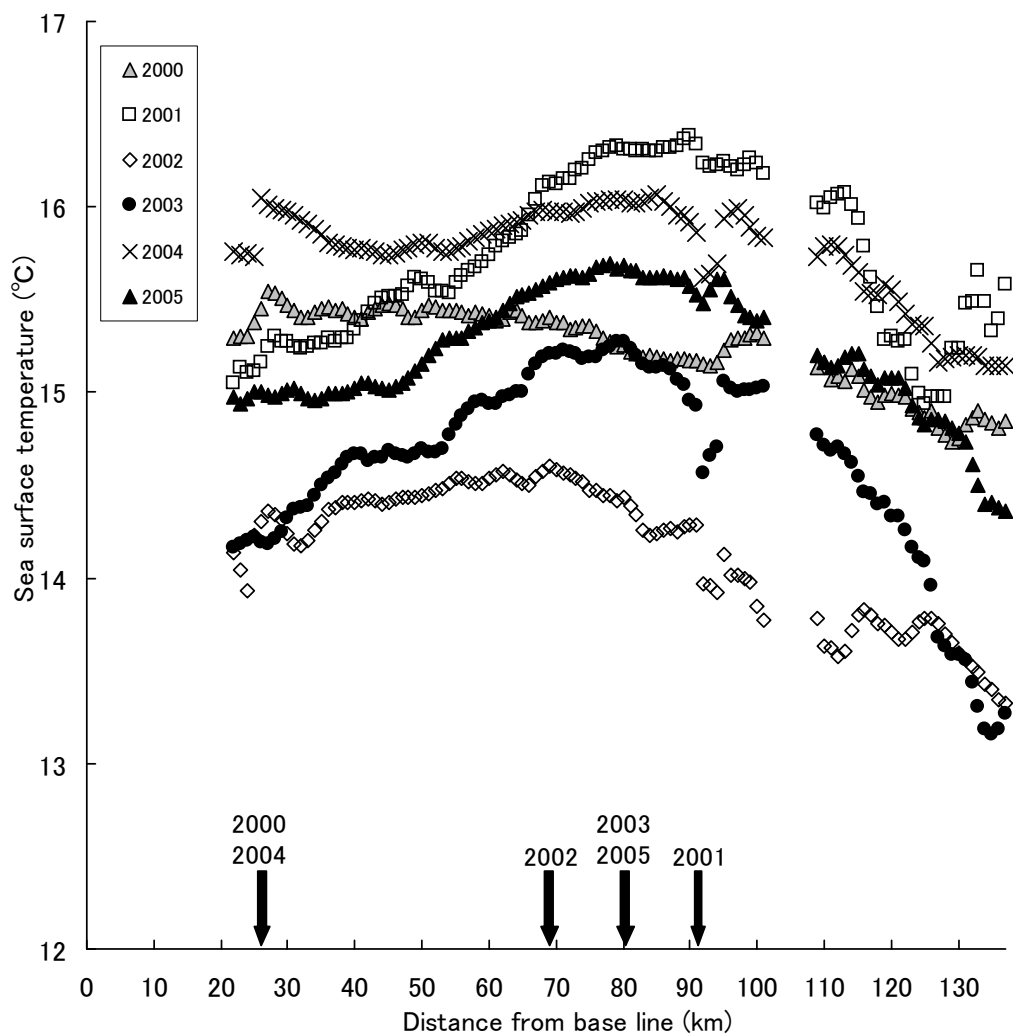


Figure 3-8. Spatial changes in the monthly average of sea surface temperature in April 2000-2005 along the broken lines added to Fig. 3-7(see the details for the text). The vertical arrow indicates the location where water temperature was the maximum for each year.

3-3-6 11月の水温分布の経年変化

2002年を除き、対馬東水道から海域中央にかけて海面水温 21°C 以上の海域が広がり、2003年と2005年は広範囲で、2000年と2001年は部分的に 22°C 以上の水域が分布していた。一方、2002年は全体的に水温が低く、対馬東水道から海域中央部にかけて 20°C の海域が分布していたが、それ以外の水域は 18°C 以下であった (Fig. 3-9)。

対馬東水道および壱岐水道に設定した Line A-D 上の水温移動平均値の各年の分布を Fig. 3-10にまとめて示した。水温が全体に低かった2002年を除けば、いずれの年も基準線付近から沖合にかけての水温変化は小さかった。11月の水温からは、4月の場合と異なり、玄界灘に流入する対馬暖水の流動パターンは明確ではなかった。

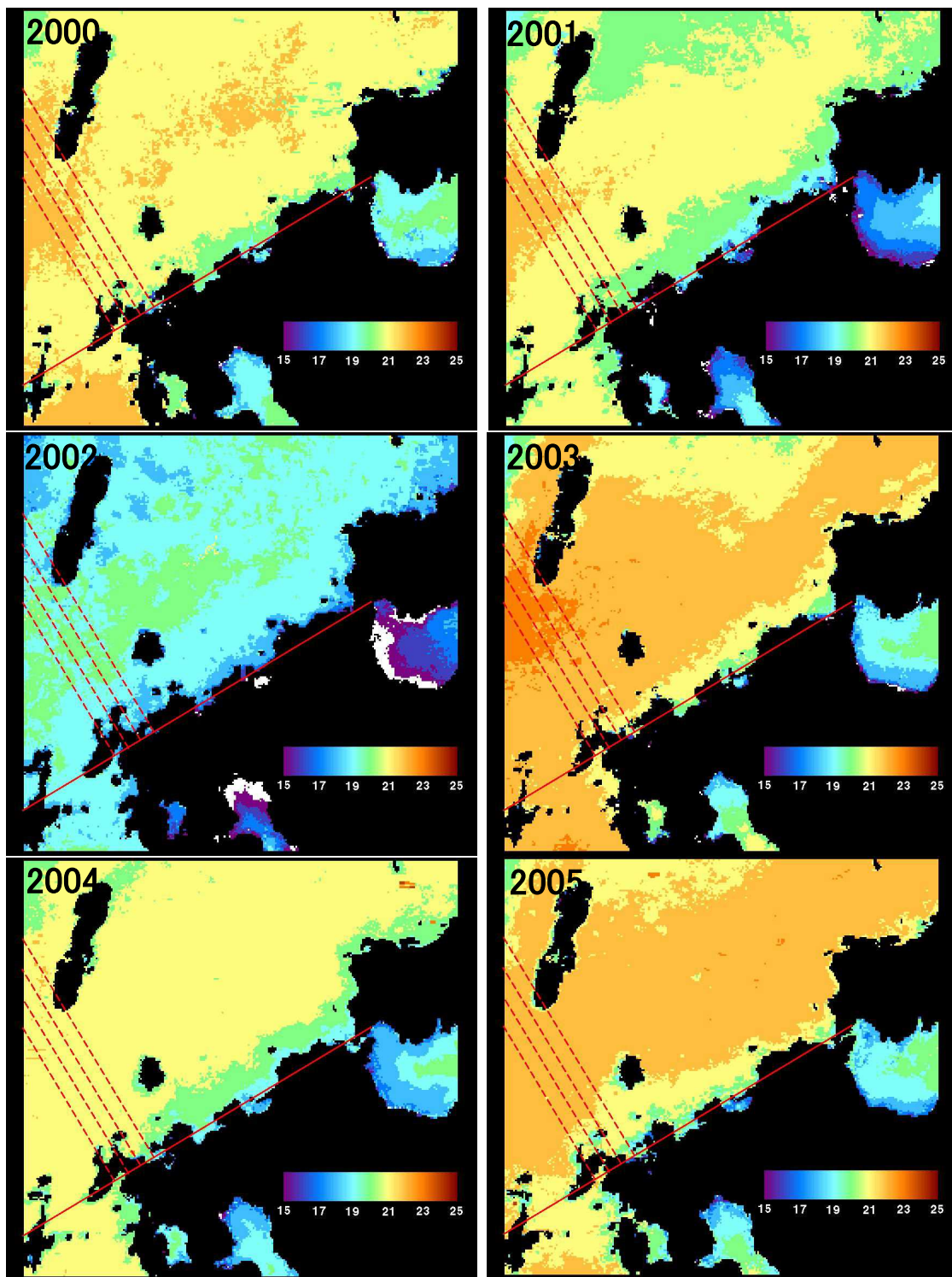


Figure 3-9. Distributions of the monthly average of sea surface temperature in November 2000-2005. See the legend of Fig.3-7 for details.

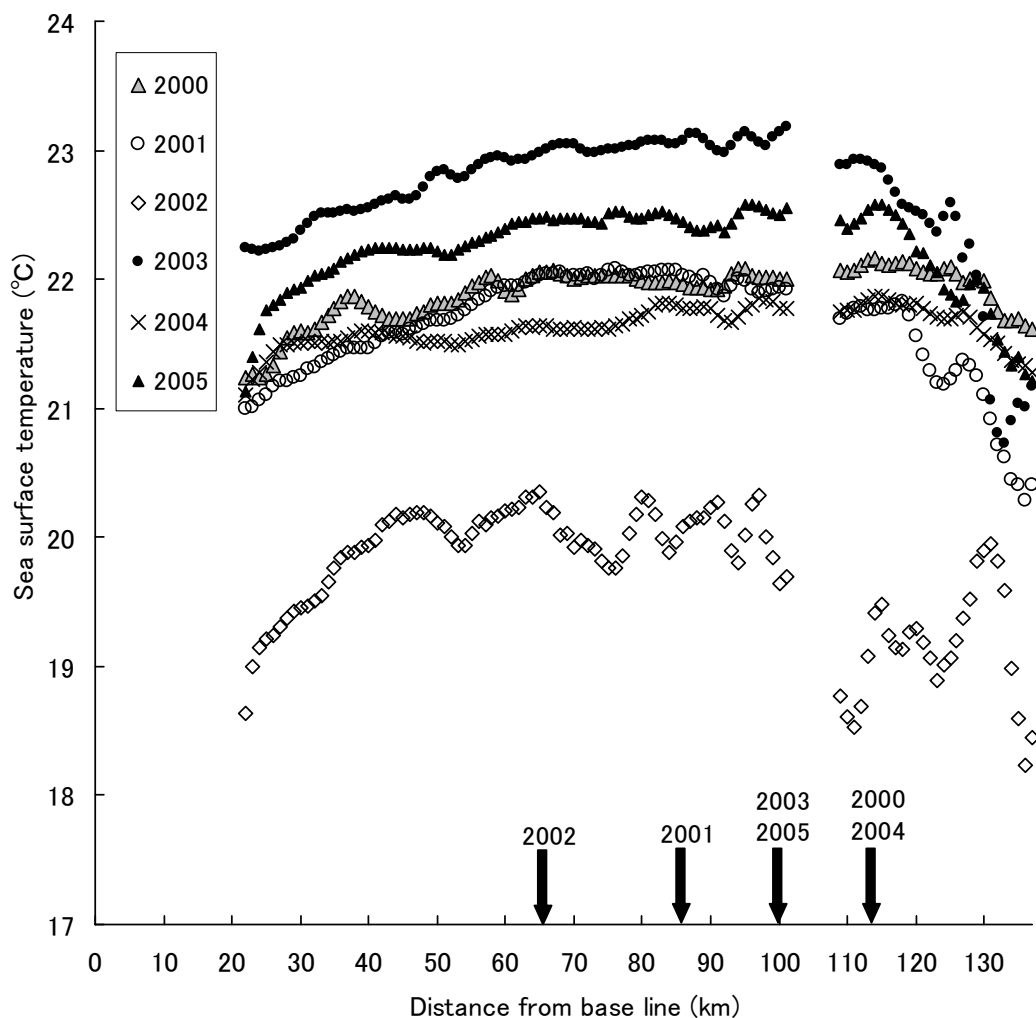


Figure 3-10. Spatial changes in the monthly average of sea surface temperature in November 2000-2005 along the broken lines added to Fig. 3-9. See the legend of Fig. 3-8 for details.

3-3-7 ケンサキイカの成熟状態の時期による変化

生殖腺が成熟した個体数の割合は、4-5月と8-9月に高い値を示し (Fig. 3-11)、これらこの時期に玄界灘で漁獲されたケンサキイカは産卵に向けて成熟が進んでいたことが分かった。一方、11月に福岡県沿岸で漁獲されたケンサキイカの成熟個体の割合は極めて低かった。

3-4 考察

本研究により、玄界灘では、産卵期である4月のケンサキイカの漁場が海表面水温14.0-17.5℃の海域に形成されることが明らかとなった。これはケンサキイカが産卵のため、産卵に適した水温の海域に蟄集し、その結果、そこに漁場が形成されたことを示唆している。

実際に5月に漁獲されたケンサキイカのほとんどは成熟していること（古田，1975）、長崎県から山陰の沿岸域では4-7月に潮通しのよい島や礁の周辺に産卵場が形成されること（古田，1980；山本，2003；荒巻ほか，2005；河野，2006）、2003年5月18日沓岐水道に位置する佐賀県東松浦群呼子町小川島北東約6 km の水深48 m の海底でケンサキイカの卵が発見されたこと（野田ほか，2003）から、毎年漁獲量が増加し始める直前の4月は、産卵のため接岸する回遊群を主に漁獲していると推測される。さらに高橋ほか（1988）は、玄界灘の筑前海におけるいか釣り漁船の操業時の分布状況から、5月に漁場が形成される水域の水温条件は概ね14-18℃であると報告している。またケンサキイカのふ化は水温10℃ではほとんど進まず、発生適水温は10-25℃であること（Natsukari et al.，1991）を考え合わせると、4月の漁獲位置の水温範囲（Fig. 3-6）は産卵に適した水温帯であることが分かる。

春季の昇温期であるこの時期に、玄界灘で漁獲されるケンサキイカは成熟個体の割合が高く、産卵適水温の海域に蟄集すると考えられる。玄界灘では、冬季にケンサキイカの産卵適水温よりも水温が低下することから、そこに対馬暖流が流入した結果、玄界灘に海表面水温14.0-17.5℃の海域が広がれば、漁場はそれに対応して広い範囲には分散して形成され、逆に適水温の範囲が狭まれば、漁場は集中して形成されることになる。このように対馬暖流の玄界灘への流入状況は、産卵適水温の分布を介して、ケンサキイカの漁場形成と密接に関係しているものと考えられる。

第2章では、春季における玄界灘のマアジ漁場形成について、対馬暖流が接岸パターンとなり沿岸域の水温が上昇した時には漁場が沿岸近くに集中し、逆に離岸パターンの場合には漁場が沖合に分散することを示し、漁場形成の要因が絶対的な水温ではなく相対的な水温分布の違いにあることを明らかにした。これに対して、ケンサキイカの場合には対馬暖流の離接岸やそれに伴う相対的な水温分布の違いとケンサキイカの漁場位置や漁場の集中・分散との間に明瞭な関連は認められなかった。毎年4月のケンサキイカの漁場形成は、産卵群を主な対象としているため、上記のように対馬暖流の流入状況に対応して決定される産卵適水温域の広がり大きく依存していることが分かった。

一方、産卵期ではない11月においても特定の水温の海域に漁場が形成されていたが、漁獲された水温範囲（20.5-24.5℃）は4月の水温範囲と全く異なっていた。漁場の中心付近位置する沖の島に近接した定点における海洋観測結果によれば、この海域における4-5月の表層と底層の水温差はほぼ1℃程度であるのに対し、11-12月の水温差は年により異なるが平均して2℃程度である。ケンサキイカが樽流し漁法で操業される水深は通常底層であることから、11月に漁獲された水域の底層水温が海表面水温より2℃程度低かったと仮定しても、4月とは異なると判断される。

河野（1991）は、晩秋から冬季にかけて対馬から山口県萩市沖の見島ととの間の沖合域に分布する本種雌の成熟個体の割合が1%以下と低いことから、日本海南西部域に秋に出現する群は秋季未成熟群であるとしている。また河野（1997）は、この秋季未成熟群は山口県沿岸域から九州北部、対馬東岸付近へ移動し越冬すると想定した。これらは11月に玄界灘で漁獲されたケンサキイカはほとんどが未成熟の個体で、また沖ノ島周辺海域に偏って漁場が形成されており、産卵適水温とは異なる水温範囲で漁獲されていたという本研究の結果とよく一致している。

このように、玄界灘において対馬暖流が沿岸漁業に及ぼす影響の現れ方は、対象魚種の生理・生態的条件によって異なることが明らかとなった。

なお、安藤（2002）は、春季のケンサキイカ漁場について、低水温域と暖水域のフロント部に漁場が形成されやすいことを指摘しているが、本研究では、漁獲位置の水温水平傾度（水温フロントの強さの指標）と CPUE との間には関連が認められなかった。

第4章 総合考察

本研究は、玄界灘における資源管理や漁業経営の安定化の基礎となる漁場形成要因の解明と漁況予測に資することを目的とし、特に本海域に流入する対馬暖流の流動変化が、玄界灘のマアジおよびケンサキイカの漁場形成に及ぼす影響を、それぞれ詳細な漁海況データの解析結果に基づいて明らかにしたものである。以下に、本研究で得られた成果を総括するとともに、本研究の特色と意義、今後に残された課題等について総合的に考察する。

まず第2章で、玄界灘における春季のマアジ漁場は、対馬暖流が接岸パターンであれば集中して形成され、離岸パターンであれば漁場は分散して形成されることを明らかにした。冬季から春季の昇温期にあたる5月の玄界灘では、対馬暖流によって運ばれる比較的暖かい水塊と冬季の間に冷やされた水塊が入り交じる。この状況下で、マアジの漁場は、対馬暖流が接岸パターンとなり沿岸域の水温が上昇した時にはマアジが沿岸近くに来遊するため沿岸に集中して形成され、一方、離岸パターンの場合には沿岸域が相対的に低水温となるため、それがマアジの接岸を妨げ、漁場が沖合に分散して形成されるものと考えられる。

次に第3章では、春季のケンサキイカ漁場の形成と対馬暖流の流動変化との関係について検討を行い、対馬暖流の暖水の影響を受けて玄界灘にケンサキイカの産卵適水温の海域が広がる時には、漁場は分散して形成され、逆に産卵適水温の水域が狭まれば、漁場は集中して形成されることを明らかにした。これは、研究の対象とした4月のケンサキイカが、産卵時期にあたるためであり、漁場形成の要因が産卵等の生態や生理条件に深く関連していることが分かった。

以上のことから、玄界灘において対馬暖流の流入状況が漁場形成の重要な要因となっていること、またその影響の現れ方は、沿岸漁業が対象とするそれぞれの魚種の生理生態と密接に関わることが明らかとなった。

解析の対象とした対馬暖流は、緒言でも述べたように、気象の影響を受けやすく、我が国沿岸の太平洋域を流れる黒潮に比べ、厚さが薄く、流速は小さく、幅が狭く、流路の屈曲が著しいことから、その流況の実態を捉えるには頻度の高い観測が必要である。そこで本研究では、高い頻度で広域の同時測定が可能である人工衛星を用いた海表面水温の測定結果から対馬暖流の流況を捉えようとした。人工衛星の観測結果は、これまで遠洋・沖合漁業のカツオ・マグロ漁場に関する研究で主に用いられており、本研究のように沿岸域の漁場に関する問題に適用された事例は極めて少ない。

本研究では、対象とする海域全体で観測日当たり471,800点にのぼる衛星観測点毎の複数回の測定値を平均処理することによって、時空間的に精度の高い水温代表値を求めた。さらに、それに基づいて対馬暖流の年々の流況を客観的に比較するため対馬東水道に定線を設け、その定線上の水温分布・変化から対馬暖流の玄界灘への流入に接岸と離岸の2つのパターンが存在することを明らかにすることができた。このように膨大な衛星観測情報を解析し沿岸の海況研究に有効に活用した点は、本研究の大きな特色の一つといえる。今後さらに、HFレーダー等による玄界灘の流れの実測データとの対応を十分に検証していくことが必要である。

また、マアジとケンサキイカの漁獲位置とその年々の変動傾向を明らかにするため、玄界灘で操業している漁船の日別の膨大な量の漁獲情報を統計的に処理し、漁獲位置等の漁獲状況の詳細を初めて明らかにした点も特筆される。本研究ではこれらを総合的に用いて、人工衛星による観測結果と漁獲記録を時間的・空間的に照合することによって日別に漁獲位置の水温を推定し、それを基に漁場の水温やその水平傾度に関する解析を行い、これまで知見に乏しかった玄界灘におけるマアジやケンサキイカの漁場形成に対する対馬暖流の影響のメカニズムの一端を明らかにすることができた。本研究の成果を玄界灘の漁業の現場へのサービス提供等に今後どのように活用していくのかについて、十分に検討していく必要がある。水温等の海況情報にもとづいて、漁獲位置をある程度予測することにより、漁場探索等の効率化につながる可能性がある。

年々の資源変動が大きく、減少傾向が著しい玄界灘の水産資源を適切に管理し維持していくために、漁海況研究は必要不可欠であり重要性は高い。対馬暖流と玄界灘の海況の関連については、いくつか報告がなされているが、玄界灘の漁場との関連についてはこれまでほとんどまとまった知見が得られておらず、本研究の成果は、マアジの漁況予測の精度の向上等に大きく貢献するものと期待される。また、ケンサキイカの分布量や現存量を調査する上で、産卵適水温の分布を検討に加える必要性が高いことを明らかにした点は、ケンサキイカの再生産機構の解明のための基礎的な知見として役立つものと考えられる。

複雑でかつ変動が著しい海況を把握するために本研究で用いた人工衛星による計測情報は有用である。人工衛星による測定結果は、インターネット等を通じて入手可能であり、本研究の成果を漁業現場へ利用・普及することは比較的容易である。マイクロ波センサー等の天候条件に左右されない測定技術を活用すれば、測定の密度を

高めることも可能である。特に沿岸域を対象とする場合、数日規模の海況の短期的な変動が漁場の形成に及ぼす影響を知ることが重要であり、解析の方法についてもさらに検討が必要である。また、より細かい時間・空間規模（高分解能）の測定ができる新たな技術や手法の開発が求められる。

一方、日夜操業する漁船から得られる情報は、海域の資源状況を把握する上で極めて貴重なものであり、資源の状況や推定に結びつく解析手法を検討していく必要がある。水揚げ記録等の正確な漁獲情報を継続して蓄積・整理していくことは、将来の漁海況研究を発展させるためにますます重要となっており、基本的な漁獲情報の精度向上と管理の体制を整備していくことが望まれる。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、丁寧なご指導と貴重なご教示を頂いた長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科の中田英昭教授に心から御礼を申し上げます。研究当初からご指導を頂き常に励まして頂いた名古屋大学地球水循環研究センターの石坂丞二教授に深く感謝いたします。研究に限らず、先生方から私は「折れない心」を与えて頂き、重ねて感謝いたします。また、本論文をご校閲頂くとともに、貴重なご指導とご教示を頂きました長崎大学大学院・環境科学総合研究科の合田政次教授と山口恭弘教授に深く感謝申し上げます。取りまとめに際し、貴重な助言を頂いた独立行政法人水産総合研究センター研究推進部研究開発コーディネーターの森永健司博士に深く感謝いたします。本研究のきっかけを頂いた松村卓月博士、(社)漁業情報サービスセンター専務理事の為石日出生博士に心から深く感謝いたします。衛星データの解析において多大なご協力とご指導を賜った日本船用エレクトロニクスの大阪栄治部長に深く感謝いたします。有益なご助言を頂いた山口県水産研究センター外海研究部の河野光久博士に感謝いたします。原稿作成において特段のご配慮とご支援を頂いた、元福岡県県土整備部水資源対策長奥久志氏、同部元水資源対策課長吉村静男氏、元水資源対策課長船津邦彦氏をはじめ同課の皆様にご心から深く感謝いたします。データの提供を頂いた独立行政法人西海区水産研究所と福岡県水産海洋技術センターのご協力に感謝いたします。

最後に常に私を支え信頼し苦楽を共にした妻に心から感謝します。私の研究生活を支援してくれた義母と家族に感謝いたします。

引用文献

- 安藤朗彦(2002)衛星リモートセンシング技術を用いた筑前海春季水温分布の変動といか釣り漁業との関連. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 12, 45-50.
- 新谷久男(1988)日本のイカ漁業と資源 XI ケンサキイカの生活様式と資源状態. 水産技術と経営, 4, 11-25.
- 荒巻 裕・野田信治・首藤俊雄(2005a)佐賀県玄海域におけるケンサキイカの生態 I - 漁獲状況、資源動態、成熟・産卵期、分布. 佐賀県玄海水産振興センター研究報告, 3, 1-7.
- 荒巻 裕・野田信治・鷲尾真佐人・藤崎 博・柴山雅洋(2005b)佐賀県玄海域におけるケンサキイカの生態 II - 産卵生態と環境. 佐賀県玄海水産振興センター研究報告, 3, 9-15.
- 秋元 聡・宮内正幸・吉田幹英(2000)筑前海域におけるマアジの漁獲変動と水温及びイワシ類漁況との関係について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 10, 67-74.
- 古田久典(1975)筑前海域におけるケンサキイカについて. 昭和48年度福岡県福岡水産試験場研究業務報告, 83-91.
- 古田久典(1978)漁場. 西日本海域におけるケンサキイカ資源生態調査報告書, 47-54.
- 古田久典(1980)筑前海域におけるケンサキイカについて V - 産卵場と底質. 昭和53年度福岡県福岡水産試験場研究業務報告, 1-6.
- Kasai, A., K. Komatsu, C. Sassa and Y. Konishi (2008) Transport and survival processes of eggs and larvae of jack mackerel *Trachurus japonicus* in the East China Sea. *Fish. Sci.*, 74, 8-18.
- 川合英夫(1974)日本海における海流像の変遷. 「対馬暖流-海洋構造と漁業」日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京. 7-26.
- 河野光久(1991)沖合底曳網で漁獲されるケンサキイカの群性状について. 西海ブロック底魚調査研究会報, 1・2, 37-46.
- 河野光久(1993)対馬海峡における流速および流量の経月変動. 水産海洋研究, 57, 219-230.
- 河野光久(1997)日本海南西海域におけるケンサキイカの資源生態学的研究. 山口県外海水産試験場研究報告, 26, 1-25.
- 河野光久(2006)山口県日本海沿岸域で発見したケンサキイカ卵囊塊. 山口県水産研究センター研究報告, 4, 69-72.
- 河野光久(2007)ケンサキイカ *Photololigo edulis* の資源生態(総説). 山口県水産研究センター研究報告書, 5, 81-98.
- 河野光久・田代征秋・小早川淳・秋元 聡(1990)山口県～九州北西部海域のケンサキイカ. 水産技術と経営, 36, (4), 18-33.
- 真子 渺・濱田律子(1984)東シナ海及び日本海南西域におけるマアジ資源 I 漁獲量変動と生物学的特性. 西海区水産研究所研究報告, 75, 1-21.
- 中川 清(1989)筑前海におけるマアジの漁獲特性について. 福岡県水産試験場研究報告, 15, 9-16.
- 野田進治・鷲尾真佐人・増田裕二(2003)佐賀県玄海海域におけるケンサキイカの産卵について. 西海ブロック漁況調査研究報告書, 10, 29-36.
- 森脇晋平(1994)日本海南西部沿岸海域におけるケンサキイカ *Photololigo edulis* の生態とその漁況に関する研究. 島根県水産試験場研究報告 8, 1-111.
- 夏苺 豊・西山雄峰・中西祐子(1986)ケンサキイカのアイソザイム(予報). 日本海西部海域に生息する"シロイカ"(ケンサキイカ・ブドウイカ)に関する共同研究報告書, 2, 145-151.
- Natsukari, Y. and M. Tashiro(1991) Neritic squid resources and cuttlefish resources in Japan. *Mar. Behav. Physiol.*, 18, 149-226.
- 小川嘉彦・山本達雄・名角辰郎・森脇晋平(1982)日本海南西沿岸水域における"シロイカ"漁場の漁況特性. 水産海洋研究会報, 41, 1-10.
- 佐々千由紀・小西芳信(2002)東シナ海におけるマアジ仔稚の分布と輸送. 月刊海洋号外, 31, 92-98.
- Sassa, C, Y. Konishi and K. Mori (2006) Distribution of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) larvae and juveniles in the East China Sea, with special reference to the larval transport by Kuroshio Current. *Fish. Oceanogr.*, 15, 508-518.
- 志村 健(2007)日本海南西海域の海洋環境変化に応答する浮魚資源の漁獲変動に関する研究. 北海道大学大学院環境生物資源科学博士論文, 97pp.
- 志村 健・大下誠二・寺門弘悦・田 永軍(2009)日本海南西海域における中層トロールと面積密度法を用いたマアジ当歳魚の現存量推定手法の開発. 日本水産学会誌, 75, 1042-1050.
- Senjyu, T., S. Matsui and I.-S. Han (2008) Hydrographic conditions in the Tsushima Strait revisited. *J. Oceanogr.*, 64, 171-183.
- 高橋 実・古田久典(1988)いか釣り漁業からみた筑前海域におけるケンサキイカ・ブドウイカの漁場形成と海洋構造. 福岡県福岡水産試験場研究報告, 14, 13-21.

- 俵 悟・藤原建紀・三井田恒博(1991)対馬水道付近における水温の短期変動について. 海と空, 66, 211-223.
- 滝川哲太郎(2003)対馬海峡における対馬暖流のモニタリング. 九州大学大学院総合理工学府博士論文, 106pp.
- 田代征秋(1977)九州北西沿岸域のケンサキイカとその漁業. 日本海ブロック試験研究集録, 1, 81-96.
- 田代征秋・立石 賢・矢田武義(1976)標識放流によるケンサキイカの回遊について. 長崎県水産試験場研究報告, 2, 5-11.
- 渡邊大輔・安藤朗彦(2007)対馬水道における水温の長期変動について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 17, 67-71.
- 山本憲一(2003)ケンサキイカ産卵場調査. 平成14年度長崎県総合水産試験場事業報告, 43-44.
- 依田真理・大下誠二・檜山義明(2004)漁獲統計と生物測定によるマアジ産卵場の推定. 水産海洋研究, 68, 20-26.
- 山田鉄雄(1969)日本海におけるマアジの分布と漁場に関する考察. 長崎大学水産学部研究報告, 28, 111-130.