

BULLETIN
OF
YAMAGUCHI PREFECTURAL FISHERIES RESEARCH CENTER

No. 16
February, 2019

山口県水産研究センター研究報告
第16号
平成31年2月

山口県水産研究センター

外海研究部：〒759-4106 長門市仙崎大泊
内海研究部：〒754-0893 山口市秋穂二島

Yamaguchi Prefectural Fisheries Research Center
Japan Sea Research Division: Senzaki, Ootomari, Nagato-city, 759-4106, Japan
Inland Sea Research Division: Aiofutajima, Yamaguchi-city, 754-0893, Japan

山口県水産研究センター研究報告第 16 号

1	山口県日本海沿岸域で漁獲されるブリ (<i>Seriola quinqueradiata</i>) の年齢, 成長および成熟 國森拓也	1
2	山口県沿岸域に放流された人工種苗の放流効果 (総説)..... 河野光久	7
3	山口県日本海漁業における資源管理とその研究の歴史 (総説)..... 河野光久	15
4	山口県日本海沿岸域における漁場整備の効果 (総説)..... 河野光久	25
5	西部山陰沿岸における水温の変動特性に関する研究..... 渡邊俊輝	35
6	漁獲量変動要因の重み付き最小二乗法による解析手法..... 品川汐夫・渡邊俊輝	87

<抄録>

山口県における淡水魚類・十脚甲殻類の生物地理, 水系, およびセグメントスケールでの分布パターン 畑間俊弘・浜野龍夫・齋藤 稔	97
--	----

Effect of salinity on interspecific composition between the dinoflagellate <i>Alexandrium catenella</i> and the raphidophyte <i>Heterosigma akashiwo</i> Yasuhiro Yamasaki, Masaaki Fujita, Shuichi Kawano, Toshinori Baba	98
---	----

7 紅藻カイガラアマノリの糸状体の生長, 球形細胞, 単列藻体および初期の葉状体形成における温度特性 阿部真比古・村瀬 昇・中江美里・中山冬麻・中川昌大・鹿野陽介	99
8 カイガラアマノリの葉状体の生長に及ぼす温度の影響 村瀬 昇・阿部真比古・福留 慶・中川昌大・鹿野陽介	100

山口県日本海沿岸域で漁獲される ブリ (*Seriola quinqueradiata*)の年齢, 成長および成熟

國森 拓也

Age, Growth and Maturation of Yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) Caught in Coastal Waters off Yamaguchi Prefecture, Southwestern Japan Sea

Takuya KUNIMORI

Age and growth of yellowtail *Seriola quinqueradiata* caught in coastal waters off Yamaguchi prefecture, southwestern Japan Sea were studied by reading the age ring of the vertebral centrum.

The ages of yellowtail captured in the waters were determined from 0 to 5+ year-old and the Bertalanffy's growth curve was estimated as follows.

$$l_t = 957 \{1 - e^{-0.41(t + 0.58)}\} \quad (n = 231, r^2 = 0.96)$$

Here, l_t is fork length (mm) at t year-old.

The gonad somatic indices were low (< 1.1) all year around except for those of a few individuals in April. This result suggests that the yellowtails hardly spawn in this area.

The age-length key was made by converting the frequencies of fork lengths into those of ages. The key will be useful to forecast the landing of yellowtail by age.

Keywords : Yellowtail; *Seriola quinqueradiata*; Growth; Age; Southwestern Japan Sea

ブリ (*Seriola quinqueradiata*)は山口県日本海沿岸域では定置網, 刺網, 一本釣り等の漁業で周年漁獲される重要魚種であり, 漁業者からは来遊する時期, 量, サイズなどの予測が求められている。

山本ら¹⁾によれば, 対馬暖流域のブリの産卵は, 2月から3月頃から東シナ海南部海域を中心に行われ, 4月には対馬・壱岐以西, 5月には山口県見島以西まで広がり, 5月中にはほぼ終了すると推定されている。また, 0歳魚は受動的に対馬暖流に輸送されて日本海へ入り各地の沿岸域に加入した後, 2歳まで小規模な回遊を行いながら成長し, 3歳の南下期以降は北海道沿岸から東シナ海の大陸棚縁辺部に

およぶ間を南北に往復回遊すると推察されている。

このように, ブリは成長に応じて回遊様式が変化すると考えられるため, 精度の高い来遊予測を行うためには, 来遊するブリの年齢組成を把握し, 年齢ごとの回遊様式に応じた予測を行う必要がある。しかし, 山口県日本海沿岸域で漁獲されるブリの年齢, 成長, 成熟などに関する基礎的な資源生物学的調査はこれまで行われたことがないため, 精度の高い来遊予測はおろか, 年齢組成さえも分かっていない。

そこで本研究では, 山口県日本海沿岸域で漁獲されるブリの年齢組成を推定するための基礎資料とすることを目的として, 本海域で漁獲されるブリの年

齢と成長を体サイズと脊椎骨の輪紋により明らかにするとともに、成熟状態についても調査し、本海域における産卵について若干の知見を得たので結果を報告する。

材料および方法

標本魚の測定および年齢査定

2016年1月から12月の間、毎月、山口県日本海沿岸域で定置網、刺網、一本釣りによって漁獲され山口県漁協仙崎地方卸売市場（仙崎市場）に水揚げされたブリを購入し、尾叉長（FL）、体重（BW）、生殖腺重量（GW）をそれぞれ1mm、1g、0.1g単位で測定した(Table 1)。

Table 1 Sampling date and number of yellowtails for the analysis of age, growth and maturation.

Date		Number of specimens			
Month	Day	Male	Female	Unsexed	Total
Jan.	13-31	9	12	5	26
Feb.	3-4	2	6	3	11
Mar.	3-21	5	9	4	18
Apr.	1-4	7	11		18
May	18-31	9	13	1	23
June	1-9	8	9		17
July	4-31	15	7		22
Aug.	11	3	2		5
Sep.	1-11	10	14	11	35
Oct.	3-20	11	10		21
Nov.	1-30	13	9		22
Dec.	1-19	10	14		24
Total					242

また、成熟状態の指標とするため生殖腺重量指数（GSI, Gonad somatic index）を次式により求めた。

$$GSI = 100 \times GW(BW - GW)$$

年齢の査定には魚体測定後に採取した脊椎骨を用いた。脊椎骨は数分間煮沸し筋肉を取り除き、10%過酸化水素水中に1日以上浸漬して脱脂した後、室内で自然乾燥させた。査定には三谷²⁾、村山³⁾、白石ら⁴⁾と同様に第17椎体を使用し、椎体後面側の円錐の不透明帯を年齢として計数した。ただし、第17椎体の輪紋が不明瞭である場合は第16椎体また

は第18椎体のうち、輪紋が明瞭で観察が容易なものを用いた。また、第16から第18椎体いずれの輪紋も不明瞭であるときは解析から除外した。

成長式の推定

成長式は、白石ら⁴⁾の方法に準拠し、九州西岸域の産卵盛期である4月1日を誕生日と仮定して、個体別に年齢を割り振った後、五利江⁵⁾の方法によりMS-Excelのソルバー機能を用いてVon Bertalanffyの成長曲線 $l_t = l_{\infty} \{1 - e^{-K(t-t_0)}\}$ の各パラメータを推定することにより求めた。ここで l_t は t 歳のときの体長（本報告では尾叉長）、 l_{∞} は最大体長、 K は成長係数、 t_0 は体長が0となる理論上の年齢である。

Age-length key の作成

Age-length keyとは体長階級ごとの年齢頻度分布を表した図表のことで、漁獲物の体長組成を年齢別漁獲尾数へ変換するために用いられる。本研究では尾叉長の階級を50mm、年齢を0歳から1歳毎に区分した。

結果

尾叉長と体重の関係

尾叉長（FL）と体重（BW）の関係は次式で表された（Fig.1）。

$$BW = 2.027 \times 10^{-5} \times FL^{2.941}$$

$$(n = 242, r^2 = 0.99)$$

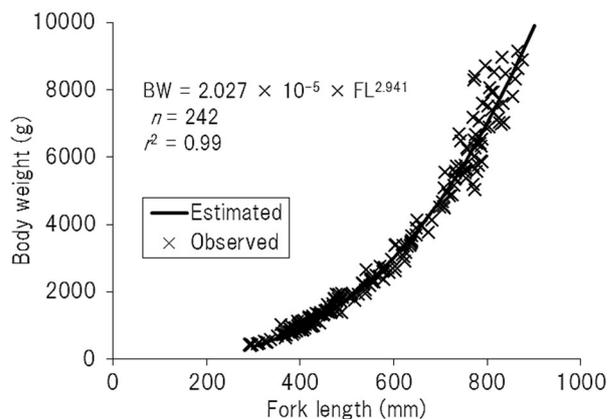


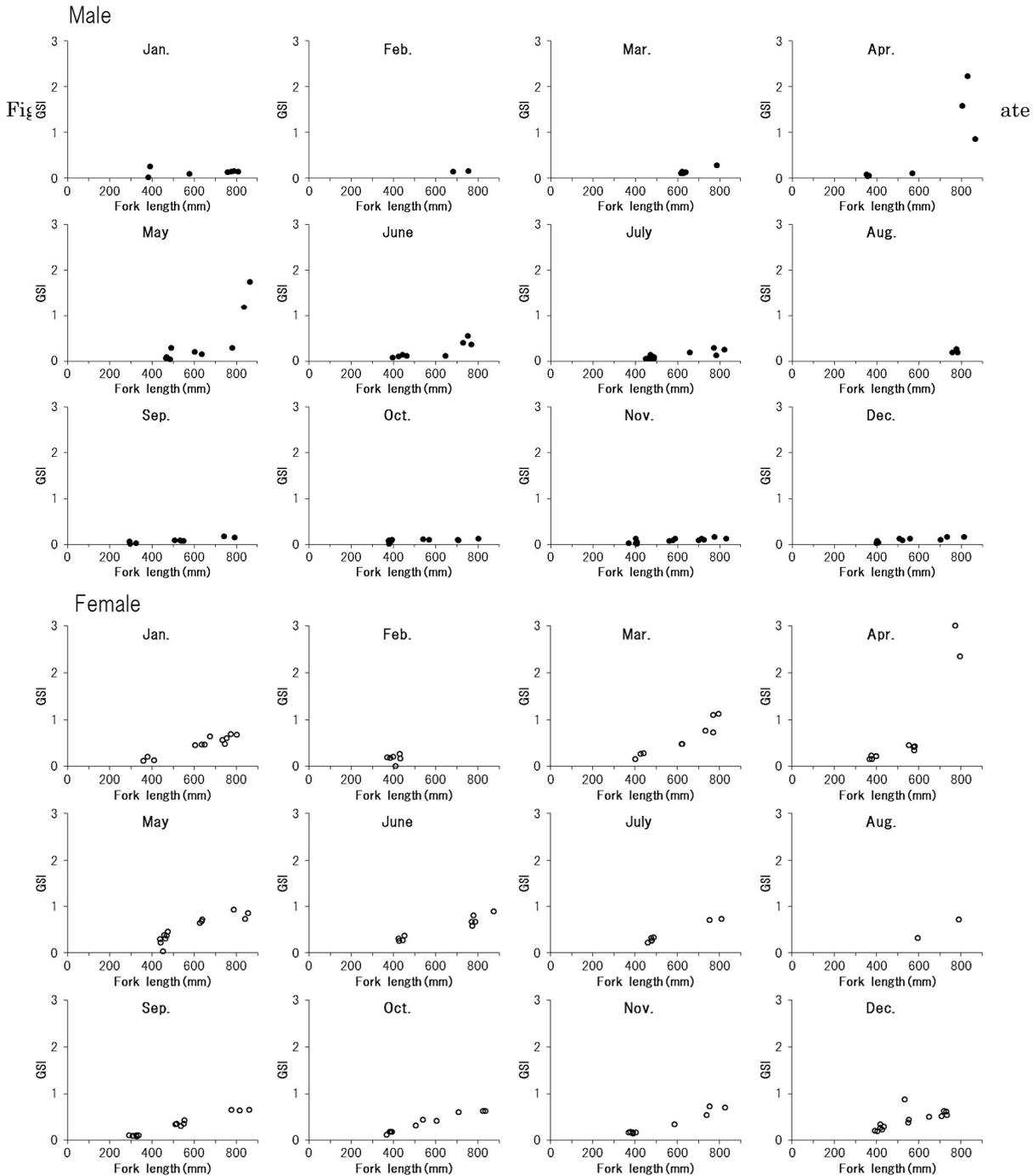
Fig.1 Relationship between the fork length and body weight of yellowtail. The line indicates the allometric equation for estimating body weight.

この式により、尾叉長 300mm では体重 392g, 400mm では 913g, 500mm では 1760g, 600mm では 3009g, 700mm では 4735g, 800mm では 7013g と推定された。

生殖腺重量指数 (GSI) の経月変化

尾叉長と生殖腺重量指数 (GSI) の関係を月別、雌雄別に Fig.2 に示す。雄の GSI は 4 月および 5 月に

尾叉長 800mm 以上の個体で 1.6 および 2.2 のものが見られ、それ以外の月では尾叉長にかかわらず全ての個体が 0.5 以下であった。雌の GSI は 3 月に 770mm 以上の個体に 1.1 のものが、4 月に 800mm 以上の個体に 2.3 および 3.0 のものが見られ、それ以外の月では尾叉長にかかわらず全ての個体が 1.0 以下であった。このように雌雄とも 4 月に GSI のやや高い個体がわずかに見られただけであった。



成長曲線

採取した全 242 個体のブリのうち 231 個体について輪紋の計数による年齢査定を行った。

九州西岸域の産卵盛期である 4 月 1 日⁴⁾を誕生日と仮定し年齢を求め、年齢 (t) と尾叉長 (l_t) との関係を Von Bertalanffy の成長曲線にあてはめたと、次式で表された (Fig.3)。

$$l_t = 957\{1 - e^{-0.41(t+0.58)}\}$$

$$(n = 231, r^2 = 0.96)$$

この式により、尾叉長は 0.5 歳で 340mm、1 歳で 453mm、2 歳で 621mm、3 歳で 733mm、4 歳で 807mm、5 歳で 857mm と推定された。

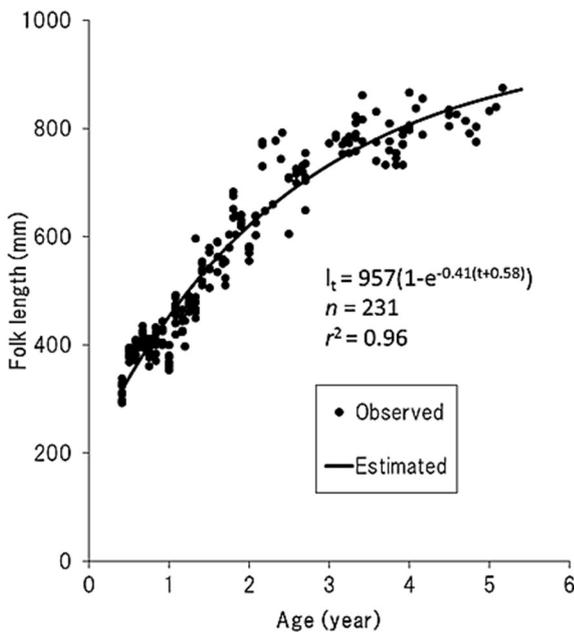


Fig.3 Relationship between the age and fork length of yellowtail. The line indicates von Bertalanffy growth curve estimated in the present study.

Age-length key

作成した Age-length key を Table 2 に示す。この表により、尾叉長 350mm 未満はすべて 0 歳、350mm 以上 450mm 未満は 0 歳と 1 歳、450mm 以上 550mm 未満はすべて 1 歳、550mm 以上 700mm 未満は 1 歳と 2 歳、700mm 以上 750mm 未満は 2 歳と 3 歳、750mm 以上 800mm 未満は 2 歳から 4 歳、800mm

以上は 3 歳から 5 歳にそれぞれ分けることができた。

Table 2 Age-length key of yellowtail caught in coastal waters off Yamaguchi prefecture, southwestern Japan Sea.

Fork length (mm)	Age (year)					
	0	1	2	3	4	5+
<300	1.00					
300-	1.00					
350-	0.78	0.22				
400-	0.76	0.24				
450-		1.00				
500-		1.00				
550-		0.72	0.28			
600-		0.56	0.44			
650-		0.75	0.25			
700-			0.72	0.28		
750-			0.16	0.71	0.13	
800-				0.33	0.53	0.13
>850				0.20	0.60	0.20

考 察

年齢、成長および成熟

ブリの年齢・成長に関しては、三谷²⁾が若狭湾で、河井⁶⁾や古藤⁷⁾が太平洋で、白石ら⁴⁾が九州西岸域で行った研究などがある。このうち、近年当海域と同じ対馬暖流域である九州西岸域で調査した白石ら⁴⁾の報告した成長式と本研究により得られた成長式を比較すると、0 歳から 2 歳および 4 歳以上で本研究の尾叉長のほうがわずかに小さいものの、両者はほぼ一致した (Fig.4)。ブリの成長速度は生息海域の水温の影響を受けると考えられることから³⁾、両海域のブリの成長がほぼ一致したことは、両海域のブリの回遊範囲がほぼ同じ海域であることを示唆している。

次に成熟について九州西岸域における白石ら⁴⁾の研究結果と本研究結果を比較する。白石ら⁴⁾は雌雄とも 3 月から平均 GSI が増加し、4 月および 5 月に高い値を示したことから、および 3 月から 5 月に排精期の個体と卵黄形成期・成熟期の個体が見られたことから、当該海域の産卵期は 3 月から 5 月で、盛期は 4 月から 5 月であると推定している。また、排精期の精巣を持つ個体の GSI は 3.5 から 15.6 で尾叉長

は 605mm 以上, 卵黄形成期から産卵期までの卵巣を持つ個体の GSI は 1.7 から 13.3 で尾叉長は 632mm 以上であったと報告している。一方, 本研究におけるブリの GSI は雄では 4 月から 5 月に 1.6 から 2.2 の個体がわずかに見られたが, それ以外の月では 0.5 以下, 雌では 4 月に産卵可能な 2.3 から 3.0 の個体がわずかに見られたが, それ以外の月では 1.1 以下と低く, 九州西岸域ほど顕著な生殖腺の発達は認められなかった (Fig.2)。このことから山口県日本海沿岸域に來遊するブリは, 本海域において 4 月に一部の個体が産卵している可能性があるものの, ほとんど産卵しておらず, 大部分は九州西岸域以南の海域^{1,4)}で産卵していると推察される。

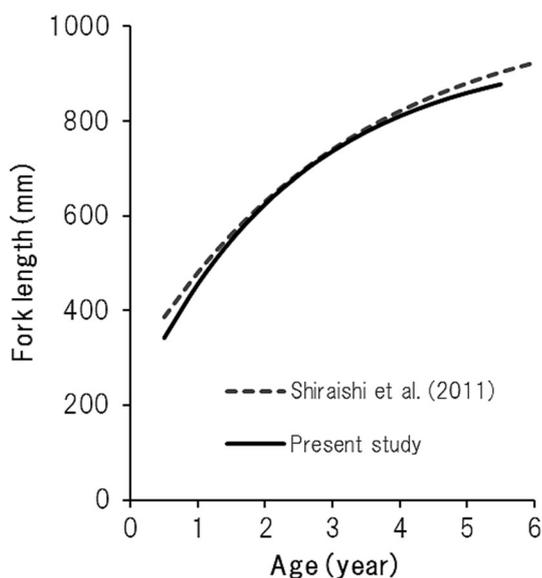


Fig.4 Comparison of growth curves of yellowtail between in the southwestern Japan Sea (present study) and off western Kyushu (Shiraishi *et al.*, 2011).

Age-length key

本研究で作成した Age-length key (Table 2) により, 漁獲物の尾叉長組成を 0 歳から 5+歳までの年齢組成に変換できるようになった。しかし, この Age-length key は尾叉長の経月変化を考慮せずに 1 年分をまとめて作成したため, 0 歳魚が漁獲されない 1 月から 6 月において, 尾叉長が 450mm 未満の個体が漁獲されれば計算上 0 歳魚が存在することになっ

てしまうという欠点がある。そこで, 0 歳魚が漁獲され始める 7 月を境に, 1 月から 6 月と 7 月から 12 月の 2 期に分け, さらに国による資源評価の年齢分解法⁸⁾に合わせて 1 月 1 日を誕生日として, 年齢を 0 歳から 3+歳まで分解する Age-length key を作成した (Table 3)。來遊予測を行うに当たっては, 海流に受動的に輸送され日本海に入る 0 歳, 小規模回遊をする 1 歳から 2 歳, 大規模回遊を開始する 3 歳以上の 3 つに区分ができればよいと考えられるので, Table 3 のような簡易なものでも來遊予測に十分活用できると考える。

Table 3 Age-length key of yellowtail caught in coastal waters off Yamaguchi prefecture, southwestern Japan Sea for the periods of January to June and July to December. The birth date is hypothesized to be January 1st.

Jan.-June				
Fork length (mm)	Age (year)			
	0	1	2	3+
<300				
300-				
350-		1.00		
400-		1.00		
450-		1.00		
500-				
550-			1.00	
600-			1.00	
650-			1.00	
700-			0.25	0.75
750-			0.28	0.72
800-				1.00
>850				1.00

July-Dec.				
Fork length (mm)	Age (year)			
	0	1	2	3+
<300	1.00			
300-	1.00			
350-	1.00			
400-	1.00			
450-		1.00		
500-		1.00		
550-		1.00		
600-			1.00	
650-			1.00	
700-			0.88	0.13
750-			0.33	0.67
800-				1.00
>850				1.00

謝 辞

標本の採集に便宜を図っていただいた仙崎市場の職員の皆様に感謝する。なお、本研究に用いた標本の一部は我が国周辺水産資源調査・評価等推進委託事業で採集したものを利用した。

文献

- 1) 山本敏博, 井野慎吾, 久野正博, 阪地英男, 檜山義明, 岸田達, 石田行正 (2007) : ブリ (*Seriola quinqueradiata*) の産卵, 回遊生態及びその研究課題・手法について. 水産総合研究センター研究報告, **21**, 1-29.
- 2) 三谷文夫(1960) : ブリの漁業生物学的研究. 近大農学部紀要, **1**, 81-300.
- 3) 村山達朗(1992) : 日本海におけるブリの資源生態に関する研究. 島根県水産試験場研究報告, (7), 1-64.
- 4) 白石哲朗, 大下誠二, 由上龍嗣 (2011) : 九州西岸域で漁獲されたブリの年齢, 成長および繁殖特性. 水産海洋研究, **75**(1), 1-8.
- 5) 五利江重昭 (2001) : MS-Excel を用いた成長式のパラメータ推定. 水産増殖, **49**(4), 519-527.
- 6) 河井智康 (1967) : ブリの年齢査定と成長. モジヤコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究. 農林水産技術会議, 研究成果, **30**, 86-99.
- 7) 古藤力 (1985) : Mode の季節移行からみたブリの年間成長量. 南西外海資源・海洋研究, **1**, 7-12.
- 8) 久保田洋, 古川誠志郎, 松倉隆一, 宮原寿恵, 亘真吾 (2018) : 平成 29 (2017) 年度ブリの資源評価. 平成 29 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価・TAC 種以外), 水産庁増殖推進部・国立研究開発法人水産研究・教育機構, 1266-1299.

山口県沿岸域に放流された人工種苗の放流効果（総説）

河野光久

Releasing Effect of Artificially-raised Seedlings Released in Coastal Waters off Yamaguchi Prefecture (Review)

Mitsuhisa KAWANO

This paper reviewed the releasing effect of artificially-raised seedlings released in coastal waters off Yamaguchi Prefecture. Information on the recovery rate and cost efficiency by species was summarized. The recovery rate and cost efficiency were reported on twelve and only four species, respectively. Therefore more advanced surveys are needed to elucidate the releasing effects. It was worth noting that recovery rates of kuruma prawn (*Marsupenaeus japonicus*), abalone (*Haliotis discus discus*) and flounder (*Paralichthys olivaceus*) had declined over time and their cost efficiencies dropped below 1. This suggests that releasing effect of a species changes yearly and even if the releasing effect was high in some years, remarkable decline of cost efficiency would happen in later years.

Key words: Releasing effect ; Artificially-raised seedlings; Recovery rate; Cost efficiency

山口県は1963年に山口県水産種苗センター（1973年に山口県内海栽培漁業センターと改称）を建設し、クルマエビ・トラフグ・ワカメの人工種苗生産を開始して以降、1973年に山口県外海水産試験場にアワビ種苗生産施設、1976年に外海栽培漁業センター、1993年に外海第二栽培漁業センターを設置し、生産対象種と生産量を増やしてきた。1993年以降は山口県栽培漁業公社が県から種苗生産業務を受託し、2016年現在海産11種の種苗を生産し、県内各地に配布している。2016年、山口県は栽培漁業の原点回帰と着実な資源造成を目指して、第七期山口県栽培漁業基本計画を策定した。その中で栽培漁業の現状と課題が総括され、「漁業者の放流経費負担能力の低下、公益法人基金運用益の低下等により、種苗放流に必要な経費の確保が困難となりつつある。このため、放流効果調査結果に基づく対象種の重点化の検討、対象魚種や放流目標数等の見直し、放流適地への集中放流、種苗生産・中間育成・放流の各過程における経費の低コスト化をなお一層進める必要がある。」と記載されている。

本総説は、この総括に従って放流効果調査結果に基づく対象種の重点化や放流目標数等の見直しを行うための基礎的な資料とするため、過去に山口県沿岸域で放流された人工種苗の放流効果をレビューした。既往文献を調べたところ、放流効果として混獲率しか記載されていない報告がいくつか見られたが、混獲率は漁獲量に対する

種苗放流の貢献度を見るための指標にはなるものの、仮に放流効果が高くなくても天然魚が減少すれば混獲率は高くなることから、放流効果の指標とするには十分ではない。放流効果としては混獲率を基にして回収率、さらには費用対効果（回収金額/放流経費）まで求めないと、放流事業の事業効果を判断する材料にはならない。なぜなら、放流海域付近で小型魚を多く漁獲すれば回収率は高くなるが、小型魚は単価が安いので回収金額はあまり高くなり、事業効果としては低いということが起こりうるからである。そこで、本総説では放流効果として回収率及び費用対効果を採用し、山口県沿岸域に放流された人工種苗について魚種別に既往文献から回収率及び費用対効果を抽出し、放流効果を検討した。また、これらの値が得られていない魚種については、放流効果の推定に参考になる情報を他県の事例を含め整理した。そして最後に山口県における放流効果を総括し、放流効果調査の改善点について指摘した。

表1に示すとおり、過去に山口県沿岸域で放流された種苗のうち回収率が報告されている種は13種で、このうち費用対効果が報告されている種は4種のみであった。なお、表1に示した回収率は過小評価を防ぐため、寿命が短い種を除き、原則として同一放流群を3年以上追跡して得られた値を掲載した。また、同一放流群について2つの報告書があり、回収率の値が2つある場合、より新

しい報告書の値をより確かな値とみなし採用した。

以下に種別の放流効果について記述する。

クルマエビ

山口県ではクルマエビの種苗放流効果調査の歴史が最も古く、檜山・原³¹⁾によって今からほぼ半世紀前の1966年から大海湾で調査が開始されている。この調査では1966～1978年の長きにわたって毎年の放流群の追跡が行われ、各放流群の回収率が報告されている。この報告は回収率の推定に当たって天然群と放流群の分離にやや難点があるものの、後世の手本となるものである。大海湾における回収率は、1966年に30mmで放流された種苗で16.8%、1967～1974年に天然干潟に放流された種苗(12mm前後)で0.7～2.8%、1968～1970年に囲網に放流された種苗(12mm前後)で0.5～6.5%、1974～1977年に人工干潟に放流された種苗(12mm前後)で3.1～6.1%と推定されている³²⁾。近年では山口県・福岡県・大分県³³⁾が尾肢切除標識を用いて、2007～2010年に宇部市地先に放流した稚エビ(平均全長50.0～59.0mm)の周防灘3県(山口県、福岡県、大分県)海域での回収率を3.3～7.5%、費用対効果を0.69～1.60%と推定している。村田ら³⁴⁾はこのうち2007年及び2008年放流群の山口県だけの回収率をそれぞれ6.3%、2%、山口県だけの費用対効果をそれぞれ0.95、0.36と推定している。このように1966年には30mm種苗でも16.8%と高い回収率であったのに対し、2007～2010年にはそれより大きい50.0～59.0mm種苗で放流しても回収率及び費用対効果が低くなっており、放流効果が顕著に低下している。

クロアワビ

クロアワビの回収率は、由良野ら³⁵⁾及び河野ら⁶⁾が報告している。由良野ら³⁵⁾は阿武町宇田郷地先における1974～1978年放流貝(平均殻長30mm)の放流個数に対する1976～1980年の再捕個数から回収率を17.3%と推定している。そして、この数値には放流貝の確認漏れが考慮されていないことから、それを考慮すると回収率は22～25%が妥当としている。しかし、放流貝の発見率は示されておらず、その根拠は明確ではない。一方、河野ら⁶⁾は萩市大渡漁場において1985～1996年に漁獲されたクロアワビの殻長組成を基に年齢別漁獲個数を計算し、1980～1988年放流貝(平均殻長15～30mm)の放流年群別回収率を推定している。それによると回収率は1980年級と1981年級は約6%であったが、1984年級以降は2%以下に低下している。そして、1984年級以降の回収率が低下した原因として、中間育成中に筋萎縮症(仮称)が発生したため、放流後の生き残りが悪化したのではないかと考えている。加えて天然貝の漁獲量が年々減少してい

ることから、再生産の悪化が示唆されるとしている。近年クロアワビの漁獲量は全県的に減少しており、天然貝、放流貝を含め、クロアワビが生き残りにくい環境になっていることが危惧される。

河野ら⁶⁾は各年級群の費用対効果について記述していないが、年平均放流経費324万円に対し、回収金額が1980年級群で557万円、1981年級群で428万円と推定していることから、これらの年級群の費用対効果は1を上回ったと見なされる。しかし、1982年級以降は回収金額が270万円以下に漸減していることから、1982年級以降は費用対効果が1を下回ったとみなされる。

クロアワビの回収率について大渡漁場の推定値がすでに報告されていたにもかかわらず、由良野³⁵⁾は県内漁業者向けの広報誌で、宇田郷地先の回収率推定値22～25%のみを採用し放流効果が高いとしているが、放流事業の推進に好都合な値のみを採用することは避けるべきである。放流事業を推進するためには、むしろ不都合なデータを含めて開示することにより、放流効果を高めるための対策を検討し、具体的に実行していくことが必要である。

アカガイ

本種の人工種苗の放流は、光漁業協同組合(現山口県漁業協同組合光支店)が最も古くから取り組み、1975年から中間育成を行い、1976～1982年に光市戸仲沖から島田川沖に平均殻長21～30mmの稚貝を放流している⁸⁻¹⁰⁾。貝桁漁船による回収率は、1976～1977年放流群では約10～30%であったが、1979年以降の放流群についてはほとんど再捕されなくなったと報告されている⁸⁻¹⁰⁾。また、その原因については、ヒトデによる食害の影響が大きいとされている¹⁰⁾。その後、食害を防止するため平均殻長57～59mmで1980～1982年に戸仲沖に放流した稚貝の回収率は54.2～75.5%と高かったことが報告されている⁹⁻¹⁰⁾。

ガザミ

1977～1979年に山口県周防灘に放流された種苗の回収率は、C1期で直接放流された種苗では2.2～4.0%と低く、潜砂可能なC3期まで育成した種苗では11.7～12.7%と推定されている¹¹⁾。

費用対効果の数値は示されていないが、種苗1尾あたりの放流経費を直接放流30円、育成放流62円、回収時の1尾あたりの価格を250円とすれば、損益分岐点となる回収率は直接放流で1.2%、育成放流で2.5%と推定されていることから¹¹⁾、費用対効果は1を上回ったと推察される。

マダイ

1980~1985年に山口県日本海域に放流された種苗の回収率は、アンカータグ標識魚の再捕結果を基に、深川湾湾口~湾内に放流された種苗（尾叉長 91~114mm）で 2.79~23.18%、深川湾を除く日本海沿岸（厚島地先~須佐湾）に放流された種苗（尾叉長 85~114mm）で 0.02~3.25%と推定されている¹²⁾。その後 1989~1993年に長門海域（長門市三隅~豊北町地先の一部）に放流された種苗（平均全長 48~78mm）の回収率は、山口県漁協仙崎地方卸売市場（以後、仙崎市場という。）での鼻孔異常魚の検出結果に基づき、3.1~12.0%と報告されている¹³⁾。山口県瀬戸内海域では吉松ら¹⁴⁾が 1993~2000年に同海域に放流された種苗（全長 40~80mm）のうち 1996~2003年に再捕された放流魚の個体数から、回収率を 5.9%と推定している。ただし、これは放流魚の混獲率を 1歳魚で 30%、0歳魚で 1歳魚を同率、2歳魚以上で前年級群の 0.5倍と仮定して推定した結果得られた値であり、長門海域のように標識（腹鰭抜去、鼻孔連続）魚を検出して得られた値ではないことに注意を要する。

クロダイ

1982~1988年に山口市~防府市地先に放流された種苗（腹鰭切除または抜去標識）の山口県周防灘における回収率は、30mm放流群で 0.8~11.8%、40mm放流群で 0.3~9.4%と推定されており¹⁵⁾、両放流群間で明瞭な差はない。

なお、本種の種苗生産は 2005年以降中止された。

エゾアワビ

北方種のエゾアワビの種苗放流は、クロアワビに筋萎縮症（仮称）が発生したため、緊急避難的代替措置として 1989年から開始された。

下関市蓋井島地先では 1989~1993年の 5年間の平均放流個数 42,930個（平均殻長 30mm）に対し、1991~1995年の 5年間平均の再捕個数が 2,128個であったことから、5年間平均回収率が 4.96%と推定されている（水津、未発表）。また、萩市大井浦地先では 1989~1993年の 5年間の平均放流個数 49,458個（平均殻長 30mm）に対し、1991~1995年の 5年間平均で 2,660個が再捕されたことから、5年間平均回収率が 5.38%と推定されている（水津、未発表）。一方、萩市大渡漁場では 1989~1992年の放流群（平均殻長 23~30mm）別回収率が 0.04~0.67%とかなり低く推定されている⁶⁾。このように、エゾアワビの回収率はクロアワビの 1974~1978年放流群及び 1980~1981年放流群と比べるとかなり低い。この原因について角田ら^{16,17)}は、エゾアワビが水深 3m以浅の岩礁、転石等の表や側面に表出している個体が多いため、マダコ等の食害に遭いやすいことを指摘している。

河野ら⁶⁾は大渡漁場における各年平均放流経費 324万円に対し、1989~1992年各年放流群の回収金額を 2.5万~57万円と推定していることから、これらの放流群の費用対効果は 1を下回っていたとみなされる。

なお、本種は 2011年以降種苗生産が中止された。

アカウニ

1990年に長門市日置黄波戸地先の投石場に平均殻長 12mmで放流された種苗の 1年後の回収率は 16.4%しかなかったが、同様に 23mmで岩場に放流された種苗の 1年後の回収率は 73.8%と高い値が推定されている¹⁸⁾。ただし、両群とも 1年後の平均殻長は約 37mmで¹⁸⁾漁獲対象サイズ（殻長約 50mm）になるにはもう 1年経過する必要があるため、漁獲対象サイズでの回収率はさらに低下すると推定される。

漁獲対象サイズまで追跡した他県の事例を見ると、2000年に佐賀県仮屋湾に放流された種苗（平均殻長約 20mm）では放流後 804日で平均殻長 54.2mmとなり、回収率は 20.3%と推定されている¹⁹⁾。また、1999年に筑前海に平均殻長 18.9mmで放流された種苗は放流後 3年で平均殻長 60.7mmに達し、回収率は 26.8%、費用対効果は 2.47と推定されており²⁰⁾、本種の回収率及び費用対効果は比較的高い。

ヒラメ

1991~1993年に長門海域に放流された種苗（平均全長 52~120mm）の回収率は、仙崎市場での無眼側黒化魚の検出結果に基づき、6.5~15.5%と推定されている¹³⁾。一方、山口県瀬戸内海では回収率は、1992~1995年放流群（平均全長 50~110mm）で 5.23~11.90%、1996~1999年放流群（平均全長 50~109mm）で 2.0~5.6%²¹⁾、さらに 2000~2003年放流群（全長 62~68mm）で 1.1~1.9%と推定されており²²⁾、回収率が経年的に低下している。この原因については村田ら²³⁾及び吉松ら¹⁴⁾は次のように考察している。村田ら²³⁾は同海域における資源量に対する放流量の相対的な大きさを示す放流強度指数（放流尾数/漁獲尾数）²⁴⁾が瀬戸内海では最も高いにもかかわらず、放流尾数の増加に伴い回収重量が必ずしも増加していないことから、環境収容力を超えた放流が生産増につながっていない可能性を指摘している。また、吉松ら¹⁴⁾はイワシ等の餌生物の減少が影響した可能性を指摘している。

山口県瀬戸内海では費用対効果も推定されており、費用対効果は 1992~1995年放流群では 2.29~13.79と 1を超えていたが²¹⁾、2000~2003年放流群では 0.357~0.825に低下している²³⁾。

オニオコゼ

尾串²⁵⁾は背鰭切除と耳石標識を施した種苗(平均全長51~112mm)を2000~2003年に下関市彦島及び安岡地先に放流し、彦島~安岡地先におけるそれらの再捕結果から回収率を1.5~7.8%と推定している。

本種についてはその後、種苗の需要が少なかったため、事業ベースでの生産には至らなかった。このため、費用対効果の算定は行われていないが、尾串²⁵⁾は回収率が6.9~7.8%と比較的高かった2000~2001年放流群の回収金額から放流魚1尾あたりの回収金額を41~47円と算定し、種苗単価がこれ以下でないと赤字になることを明らかにしている。

トラフグ

2000年代以降、トラフグの適地放流が推奨され、山陽小野田市殖生地先を中心とした放流が行われている。2006年に耳石標識と胸鰭切除の2重標識を施され、同海域に放流された種苗(平均全長70mm)の山口県日本海域から長崎県海域における0~4歳魚での回収率は2.5%と推定されている²⁶⁾。また、2008年及び2009年に同海域に放流された2重標識魚(平均全長:2008年74mm, 2009年73mm)のうち山口県周防灘で再捕された0歳魚の回収率は、それぞれ3.4%, 1.2%と推定されている^{27,28)}。

費用対効果は、平均全長約70mmで殖生地先に放流された種苗(焼印標識魚)の瀬戸内海西部(山口県, 大分県, 愛媛県海域)~山口・福岡県日本海での回収金額を基に、2001~2005年放流群では2.20~3.09と1を大きく上回ったが、2006~2008年放流群では0.61~1.17に低下したと算定されている²⁹⁾。なお、2006~2008年放流群について、瀬戸内海西部だけの回収金額を基に算定された費用対効果は0.2~0.6と1を下回っており、0~1歳の小型魚を主に漁獲する瀬戸内海西部だけでは赤字になることが明らかになっている²⁹⁾。山口県日本海域放流群については、山本ら³⁰⁾が2005年の阿武町~萩市江崎地先放流群(平均全長65mm)の山口県日本海域から長崎県海域及び韓国海域における費用対効果を1.41と算定している。

アカアマダイ

2006~2009年に山口県日本海沿岸域で全長63~103mmで放流され2011~2013年に同海域で再捕された放流魚の回収率は、腹鰭切除標識魚の再捕結果から2007年放流群で10.2%, その他の年の放流群で3.2~7.4%と推定されている³¹⁾。

費用対効果は回収率の高かった2007年放流群では1.2と1を上回ったが、その他の年の放流群では0.2~0.7と1を下回った²⁹⁾。

本種の放流効果の算定に当たっては、本種が主に放流

後3~6年経過して再捕されるにもかかわらず、調査期間が3年しかなかったこと、腹鰭の再生率を考慮していないこと、及び標識魚の判別にやや難点があることが問題点として指摘されている²⁹⁾。

キジハタ

南部³²⁾は油谷湾における腹鰭切除標識を施した大型種苗(全長80~90mm)の2005年及び2006年放流群と小型種苗(全長60~63mm)の2007年及び2009年放流群の回収率を報告している。それによると、放流後5年間の平均回収率は、大型種苗で1.05%, 小型種苗で1.09%あり³²⁾、両者に大差はない。なお、本種は2013年から全長30cm未満の個体の採捕が禁止されているので、この回収率は全長制限が行われる前の値であることに注意を要する。

費用対効果については報告が見当たらなかったため、費用対効果が1となる回収率を試算してみる。回収される放流魚の全長組成が2016年に仙崎市場に水揚げされた個体の全長組成³³⁾と同じと仮定して、萱野³⁴⁾の全長(L , cm)~体重(W , kg)関係式($W=0.01452L^{3.082}/1000$)から平均体重を求めると0.9kgになる。これに仙崎市場における2017年の活魚・鮮魚込みの平均単価1,672円/kgを乗ざると、回収魚の平均単価は1,505円/尾となる。種苗単価を95円/尾、回収率を $R(\%)$ とすると、回収金額=放流経費から次式が成り立つ。

$$R/100 \times 1505 = 95$$

よって、 $R=6.31(\%)$ となる。

放流尾数を仮に100,000尾、回収率を6.31%, 回収魚の平均体重を0.9kgとして放流魚の回収によって期待される生産量を求めると5.68トンとなる。

南部³²⁾の報告した回収率は、費用対効果が1となる回収率と比べるとかなり低い。しかし、油谷湾での本種の買取調査の結果、放流魚の混入率が47.6%と高く、特に放流場所から半径約1km内では72.2%と非常に高かったことが報告されていることから³²⁾、漁獲されずに放流場所周辺に留まっている個体がかかなり多い可能性があり、今後回収率を高める余地は残されていると考えられる。

カサゴ

カサゴ種苗の放流と再捕に関しては、有菌ら³⁵⁾が1977年に萩市三見沖で20~30mmの人工種苗を岩礁域に放流した場合、天然カサゴによる捕食減耗が著しいこと、及び7~11cmまで中間育成した種苗を放流した場合、1年後までに再捕報告が1例だけであったことを報告しているのみで、回収率についての報告は見当たらない。

他県の事例を見ると、宮崎県では、2006年放流群(平均全長67mm)の0~4歳での回収率が2.6%, 2007年放

流群（平均全長 66mm）の 0~3 歳での回収率が 0.60%と推定されている³⁶⁾。また、大分県では 2004 年放流群（平均全長 91mm）の 0~4 歳での回収率が 0.26%と推定されている³⁶⁾。カサゴは移動距離が 4km 以内で行動範囲が極めて小さいことから³⁵⁾、回収率が高いように思われやすいが、このように他県の事例では回収率はあまり高くない。

メガイ

メガイの回収率の報告はないが、長門市油谷大浦地先（白石漁場（築磯）、船瀬漁場、俵島ゴロベエ漁場）における生残率が報告されている^{37,38)}。それによると、各漁場とも 1997 年に種苗（平均殻長：白石漁場 37.0mm、船瀬漁場 42.0mm、俵島ゴロベエ漁場 37.0mm）が放流され、放流後 918 日後の生残率は白石漁場（平均殻長 77.6mm）で 14.8%、船瀬漁場（平均殻長 72.16mm）で 1.0%、俵島ゴロベエ漁場（平均殻長 80.49mm）で 14.8%と推定されている^{37,38)}。俵島ゴロベエ漁場では放流後 1,181 日まで追跡調査が行われており、1,181 日後の推定生残率は 9.8%、平均殻長は 99.48mm であった³⁸⁾。俵島ゴロベエ漁場における漁獲対象サイズ（殻長 100mm 以上）の回収率はこの生残率をさらに下回ると推察される。

アサリ

アサリについても回収率に関する報告はないが、2010 年 7 月に周南市戸田、平生町佐賀、山陽小野田市殖生地先に放流された殻長 11.3mm の種苗の 11 月における殻長及び生残率が、それぞれ 26.2mm 及び 83%、20.2mm 及び 74%、18.0mm 及び 4%と推定されている³⁹⁾。このことから、成長が良い地先で生残率が高いことがうかがえ、そのような場所に放流することが重要であるといえよう。漁獲対象サイズ（殻長 30mm 以上）のアサリの回収率はこれらの生残率をさらに下回るとみなされる。

放流効果の総括

放流効果の中で特に注目されるのは、定着性が比較的強く、放流開始当初は放流事業の優良事例とされていた瀬戸内海側のクルマエビ（30~50mm 種苗）及びヒラメ、日本海側のクロアワビで回収率が経年的に低下し、費用対効果が 1 を下回るようになったと推定されたことである^{3,4,6,22)}。このことは、放流効果に経年的な変動があり、放流を継続しても何年か後には放流効果の顕著な低下が起りうることを示している。これらの種の放流効果が低下した要因は必ずしも明確ではないが、同時期に天然資源が減少しているクルマエビ及びクロアワビについては環境の変化に伴う生き残りの減少⁴⁶⁾、同時期に天然資源が減少していないヒラメについては環境収容力を超え

た放流²³⁾や餌生物の減少¹⁴⁾が要因になっている可能性が示唆されている。これらのことから、比較的定着性が強い魚種を新規に海域に放流すれば、放流初期には放流効果が高くても、何年か経過すれば環境や被捕食関係の変化に伴い、その海域の余剰生産力が低下し、放流魚を収容しきれなくなること、そしてその状態で生態系のバランスが保たれる可能性のあることが推察される。こうして放流効果が低下し、いかに対策を講じても何年も費用対効果が 1 を下回るような状態が継続するならば、環境収容力が回復するまでその種の放流を中止することも選択肢の 1 つとなるであろう。北田⁴⁰⁾が指摘しているように、放流の規模は対象種の資源状態及び放流場所の環境収容力を十分考慮して決定しなければならない。

今回、既往知見を整理した結果、回収率の報告されている種は 12 種あったものの、費用対効果はクルマエビ、ヒラメ、トラフグ及びアカアマダイの 4 種しか報告されておらず、放流効果は十分に解明されているとはいえない。

回収率は示されているものの費用対効果が求められていない場合、年齢別の回収尾数に単価を乗ずるだけで回収金額を算定できる。また、放流経費については、どこまで経費に入れるかで変わってくるので、何を経費にしたかを明示する必要があるものの、とりあえず種苗を購入して放流するだけであれば種苗費を、中間育成して放流する場合は中間育成経費を足して放流経費として費用対効果を出すことが可能である。費用対効果まで求めないと、放流効果調査としては不十分であり、それに向けた努力をすべきである。仮に不完全なデータや仮定に基づく計算結果であったとしても、計算過程における問題点を列挙しておけば、後々改善が可能となるであろう。

現在まで回収率すら求められていない種については、放流魚と天然魚の判別及び年級群の分離が課題となる。漁獲量と放流尾数の経年変化を重ね合わせて 1 枚の図にして、放流尾数が増加したから漁獲量が増えたというような説明が安易に用いられることがあるが、天然魚と放流魚それぞれの漁獲量の経年変化を示さないと科学的に根拠のある説明にはならない。放流効果は天然資源の変動に埋もれてしまうことが多いので、放流効果がうやむやにならないよう、何らかの標識を付けて追跡調査を実施することが望まれる。また、調査に際しては、北田²⁴⁾の示したサンプリング理論に沿って調査を組み立て、最低限、対象とする放流群の主漁獲対象年齢をカバーできる期間継続して調査することが望ましい。調査は数年にわたり相応の時間、労力、及び予算を必要とするが、放流効果調査結果に基づく回収率及び費用対効果の解明を避けて通るわけにはいかないであろう。

表1 放流魚種別回収率及び費用対効果

魚種	放流年	体長 (mm)	放流海域	再捕海域	回収率 (%)	費用対効果*	文献番号
クルマエビ	1966	30	大海湾	大海湾	16.8	-	1
	1967-1974	12	大海湾 (天然干潟)	大海湾	0.7-2.8	-	1
	1968-1970	12	大海湾 (囲網)	大海湾	0.5-6.5	-	1
	1974-1977	12	大海湾 (人工干潟)	大海湾	3.1-6.1	-	1
	2007	59.0	宇部市地先	周防灘 (山口県、福岡県、大分県)	7.5	1.60	2
	2008	50.0	宇部市地先	周防灘 (山口県、福岡県、大分県)	3.3	0.69	2
	2009	58.9	宇部市地先	周防灘 (山口県、福岡県、大分県)	4.3	0.77	2
	2010	54.0	宇部市地先	周防灘 (山口県、福岡県、大分県)	5.0	0.83	2
	1974-1978	30	阿武町宇田郷地先	阿武町宇田郷地先	17.3	-	5
	1982-1989	15-30	萩市太渡漁場	萩市太渡漁場	6.12-0.45	-	6
アカガイ	1976	40	光市戸仲沖	光市戸仲沖	約30	-	8
	1977	20-30	光市戸仲、島田川沖	光市戸仲、島田川沖	8.8-20.3	-	9
	1978-1979	24-40	光市戸仲、島田川沖	光市戸仲、島田川沖	1.1-3.1	-	9
	1980-1981	25-27	光市戸仲、島田川沖	光市戸仲、島田川沖	0	-	9
	1980-1981	57-59	光市戸仲、島田川沖	光市戸仲、島田川沖	54.2-75.5	-	9
ガザミ	1982	27	光市戸仲沖	光市戸仲沖	0	-	10
	1977-1979 (C1期)	山口県周防灘	山口県周防灘	2.2-4.0	-	11	
	1977-1979 (C3期)	山口県周防灘	山口県周防灘	11.7-12.7	-	11	
	1980-1985	91-114	深川湾湾口～深川湾	山口県日本海	2.79-23.18	-	12
	1980-1985	85-114	厚島地先～須佐湾 (深川湾を除く)	山口県日本海	0.02-3.25	-	12
	1989-1993	48-78	長門海域	山口県日本海	3.1-12.0	-	13
	1993-2000	40-80	山口県瀬戸内海	山口県瀬戸内海	5.9	-	14
	1982-1988	30	山口市～防府市地先	山口市～防府市地先	0.8-11.8	-	15
	1982-1988	40	山口市～防府市地先	山口市～防府市地先	0.3-9.4	-	15
	エゾアワビ	89-93	30	下関市蓋井島地先	下関市蓋井島地先	4.96	-
89-93		30	萩市大井浦地先	萩市大井浦地先	5.38	-	**
アカウニ	1990-1994	23-30	萩市太渡漁場	萩市太渡漁場	0.04-0.67	-	6
	1990	12	長門市黄波戸地先 (投石場)	長門市日置黄波戸地先 (投石場)	16.4	-	18
	1990	24.6	長門市黄波戸地先 (岩場)	長門市日置黄波戸地先 (岩場)	73.8	-	18
	1991-1993	52-120	長門海域	山口県日本海	6.5-15.5	-	13
	1992-1995	50-110	山口県瀬戸内海	山口県瀬戸内海	5.23-11.90	2.29-13.79	21
	1996-1999	50-110	山口県瀬戸内海	山口県瀬戸内海	2.0-5.6	-	14
	2000-2003	62-68	山口県瀬戸内海	山口県瀬戸内海	1.1-1.9	0.357-0.825	22
	2000-2003	51-112	下関市彦島、安岡地先	下関市彦島～吉母地先	1.5-7.8	-	25
	2001-2005	70	山陽小野田市殖生地先	瀬戸内海西部～山口・福岡県日本海	-	2.20-3.09	29
	2005	65	阿武町～萩市江崎地先	山口県日本海～長崎県海域、韓国海域	-	1.41	30
アカアマダイ	2006	70	山陽小野田市殖生地先	山口県日本海～長崎県海域	2.5	-	26
	2006-2008	62.9-73.6	山陽小野田市殖生地先	瀬戸内海西部～山口・福岡県日本海	-	0.61-1.17	29
	2006-2008	62.9-73.6	山陽小野田市殖生地先	瀬戸内海西部 (山口県、大分県、愛媛県)	-	0.2-0.6	29
	2008	74	山陽小野田市殖生地先	山口県周防灘	3.4	-	27
	2009	73	山陽小野田市殖生地先	山口県周防灘	1.2	-	28
	2006-2009	63-103	山口県日本海	山口県日本海	3.2-10.2	0.2-1.2	31
	2005, 2006	80-90	山口県日本海	油谷湾	1.05	-	32
	2007, 2009	60-63	山口県日本海	油谷湾	1.09	-	32

* 費用対効果=回収金額/放流経費

**水津 (未発表)

文 献

- 1) 檜山節久・原 健一 (1979) : クルマエビ経済効果の解析. 昭和 51-53 年度指定調査研究総合助成事業経営・流通研究総合報告書—クルマエビ種苗放流の経済効果—, 山口県内海水産試験場, 1-40.
- 2) 山口県・福岡県・大分県 (2011) 栽培漁業資源回復等対策事業総括報告書 (周防灘クルマエビ), 栽培漁業資源回復等対策事業 (平成 18-22 年度) 総括報告書, 社団法人全国豊かな海づくり推進協会, 445-473.
- 3) 村田 実・松野 進・木村 博・内田喜隆 (2008) : クルマエビ放流効果共同調査, 平成 19 年度山口県水産研究センター事業報告, 198-205.
- 4) 村田 実・松野 進・木村 博・内田喜隆 (2009) : クルマエビ放流効果共同調査, 平成 20 年度山口県水産研究センター事業報告, 179-181.
- 5) 由良野範義・角田信孝・大内俊彦 (1981) : クロアワビ種苗放流効果調査, 昭和 55 年度山口県外海水産試験場事業報告, 53-56.
- 6) 河野光久 (1998) : 山口県大渡漁場におけるアワビ類の放流効果. 山口県外海水産試験場研究報告, **27**, 51-55.
- 7) 由良野範義 (1998) : アワビの放流技術について. 水試だより増刊号, 山口県外海水産試験場・山口県外海水産振興協議会, 4-5.
- 8) 高見東洋・岩本哲二・中村達夫・井上 泰 (1979) : アカガイの増養殖に関する研究 (昭和 51・52 年度) 山口県大渡漁場におけるアワビ類の放流効果. 山口県内海水産試験場報告, (7), 207-208.
- 9) 山口県水産課・(社) 山口県漁村振興協議会 (1987) : アカガイ. 栽培漁業のてびき, 199-230.
- 10) 市川秀次 (1984) : アカガイ地まき放流に取り組んで. 第 30 回山口県漁村青壮年婦人活動実績発表大会資料集, 山口県漁協育成対策協議会, 17-25.
- 11) 檜山節久・岩本哲二・原 健一・浅積慎次・松野 進 (1981) ; ガザミ放流技術開発事業 (昭和 52・53・54 年度) . 山口県内外水産試験場報告, (8), 200-201.
- 12) 山口県水産課・(社) 山口県漁村振興協議会 (1987) : マダイ. 栽培漁業のてびき, 1-27.
- 13) 社団法人山口県栽培漁業公社 (1996) : マダイ・ヒラメ放流効果実証事業報告書 (山口県日本海広域栽培パイロット事業) 平成元年度~7 年度, 10-26.
- 14) 吉松隆司・木村 博・三村勝則 (2007) : 放流効果の検討把握 (マダイ, ヒラメ: 内海) . 平成 18 年度山口県水産研究センター事業報告. 208-214.
- 15) 山口県内海水産試験場 (1989) : 昭和 63 年度栽培漁業放流技術開発調査事業クロダイ. 1-27.
- 16) 角田信孝・水津洋志・松尾圭司・後藤敏郎・三浦 忠・木嶋久登 (1995) : 放流エゾアワビの追跡調査. 平成 6 年度山口県外海水産試験場事業報告, 94-101.
- 17) 角田信孝・水津洋志・松尾圭司・井上存夫 (1996) : 放流エゾアワビの追跡調査. 平成 7 年度山口県外海水産試験場事業報告, 102-106.
- 18) 角田信孝・由良野範義・水津洋志・道中和彦 (1992) : 平成 3 年度漁場高度利用技術開発事業報告書 (ユニ・アワビ類) . 山口県外海水産試験場, 1-43.
- 19) 荒巻 裕・鷲尾真佐人・古賀秀昭 (2005) : 佐賀県仮屋湾におけるアカウニ大型種苗放流の効果. 佐賀県玄海水産振興センター研究報告, (3), 31-32.
- 20) 深川敦平・秋本恒基・後川龍男 (2003) : 筑前海におけるアカウニ大型種苗放流の効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, (3), 7-12.
- 21) 檜山節久・木村 博 (2000) : 山口県瀬戸内海におけるヒラメ人工種苗の放流効果について. 山口県内海水産試験場報告, (29), 1-8.
- 22) 村田 実・吉松隆司・木村 博・内田喜隆 (2008) : やまぐちのヒラメ放流効果実証事業. 平成 19 年度山口県水産研究センター事業報告, 206-215.
- 23) 村田 実・木村 博・内田喜隆 (2009) : 放流効果の検討把握 (ヒラメ: 内海), 平成 20 年度山口県水産研究センター事業報告, 164-167.
- 24) 北田修一 (1996) : 栽培漁業の資源論. 日本栽培漁業協会, さいばい叢書, 3, 1-112.
- 25) 尾串好隆 (2008) : 響灘山口県沿岸におけるオニオコゼ人工種苗の放流効果について. 山口県水産研究センター研究報告, (6), 79-87.
- 26) 松村靖治 (2012) : 有明海におけるトラフグの放流技術と放流効果に関する研究. 海洋と生物, **34**, 400-405.
- 27) 山本健也・木村 博・安成 淳・南部智秀 (2009) : 日本海・東シナ海トラフグ資源添加技術調査事業. 平成 20 年度山口県水産研究センター事業報告, 69.
- 28) 山本健也・木村 博・安成 淳・南部智秀・田原栄一郎 (2010) : 日本海・東シナ海トラフグ資源添加技術調査事業. 平成 20 年度山口県水産研究センター事業報告, 39.
- 29) 山口県・愛媛県・福岡県・大分県 (2011) 栽培漁業資源回復等対策事業総括報告書 (瀬戸内海西部海域トラフグ), 栽培漁業資源回復等対策事業 (平成 18-22 年度) 総括報告書, 社団法人全国豊かな海づくり推進協会, 411-444.
- 30) 山本健也・安成 淳・南部智秀・田原栄一郎 (2010) : 資源回復実証事業 (トラフグ) . 平成 21 年度山口県水産研究センター事業報告, 25-26.

- 31) 河野光久 (2005) : 山口県日本海沿岸域に放流したアカアマダイ人工種苗の放流効果 (短報). 山口県水産研究センター研究報告, (14), 51-53.
- 32) 南部智秀 (2015) : 種苗放流への取組みと問題点〜キジハタを例として〜. ハタ科魚類の水産研究最前線 (征矢野 清・照屋和久・中田 久編), 恒星社厚生閣, 東京, 96-108.
- 33) 河野光久 (2017) : 山口県日本海域におけるマハタ属魚類の漁獲動向. 山口県水産研究センター研究報告, (14), 23-26.
- 34) 萱野泰久 (2012) : 岡山県備讃瀬戸海域におけるキジハタの漁獲実態と資源管理. 岡山県農林総合水産研究所報告, (27), 12-16.
- 35) 有蘭真琴・松浦秀喜・大内俊彦・道中和彦 (1978) : カサゴの放流技術開発に関する研究. 山口県外海水産試験場研究報告, 16, 32-51.
- 36) 大分県・宮崎県 (2011) 栽培漁業資源回復等対策事業総括報告書 (豊後水道西部海域カサゴ), 栽培漁業資源回復等対策事業 (平成 18~22 年度) 総括報告書, 社団法人全国豊かな海づくり推進協会, 475-496.
- 37) 木嶋久登・由良野範義・道中和彦 (2001) : メガイアワビの放流追跡調査. 平成 11 年度山口県水産研究センター事業報告, 86-91.
- 38) 中野義久・由良野範義・道中和彦 (2002) : 油谷町大浦地先漁場におけるメガイアワビの放流追跡調査. 平成 12 年度山口県水産研究センター事業報告, 23-26.
- 39) 多賀 茂・國森拓也・原川泰弘 (2011) : 地先型資源回復調査事業 (アサリ : 中間育成) . 平成 22 年度山口県水産研究センター事業報告, 34-35.
- 40) 北田修一 (2007) : 栽培漁業についての私見. 豊かな海, 12, 21-28.

山口県日本海漁業における資源管理とその研究の歴史 (総説)

河野光久

History of Fisheries Resource Managements and their Researches Conducted on the Japan Sea Fisheries of Yamaguchi Prefecture (Review)

Mitsuhisa KAWANO

This paper reviewed the history of fisheries resource managements and their researches conducted on the Japan Sea fisheries of Yamaguchi Prefecture. Most of the managements have been conducted based on the national institutions. Management of redspotted grouper (*Epinephelus akaara*) was the only original action in Yamaguchi Prefecture. Some managements did not succeed: because (1) offshore fisheries also cathered the target fishes, (2) the used simulation model had some problems, (3) the regulations were lax, (4) the management plans were not readjusted. Catches by the fisheries have markedly decreased in recent years, therefore effective fisheries managements of main important fishes are needed from now on.

Key words: Fisheries resource management; Japan Sea fisheries of Yamaguchi Prefecture; National institutions

今般、水産庁は水産資源の適切な管理と水産業の成長産業化を両立させるため、水産政策の大幅な変革を行う方針を打ち出した¹⁾。このような国の動向を見極めながら、今後山口県において資源管理を推進するためには、本県におけるこれまでの資源管理とその研究をレビューし、成果と問題点を整理しておくことは重要と考えられる。そこで、本総説では既往の文献及び著者の経験をもとに、本県日本海漁業における資源管理とその研究の歴史的経過を記述するとともに、成果と問題点を明らかにした。

以下に主要な成果と問題点を年代別について記述する(附表)。

1980年代

山口県日本海漁業において資源管理に関連する研究結果が報告されたのは、1981年の尾串²⁾の報告が最初である。尾串²⁾は1977年から開始された200カイリ水域内漁業資源調査で得られたトラフグのデータを用いて、土井の迅速解析法³⁾により1970年代後半の黄海・東シナ海産トラフグの資源診断を行い、資源がすでに乱獲状態にあり、山口県遠洋延縄漁業の漁獲努力量を現状の20,100日から適正水準の13,000日に落とした方がよいと報告した。尾串⁴⁾は脊椎骨を用いたトラフグの成長についても報告しており、これらの研究は現在のトラフグ資源研究の礎となっている。

1981~1985年には地域性重要水産資源管理技術開発総合研究として、兵庫・鳥取・島根・山口の山陰4県による日本海西部海域に生息するケンサキイカの共同研究が行われた。研究名に「資源管理」が用いられたのは、本県においてはこの研究が最初である。本研究では標識放流結果に基づく資源特性値⁵⁾を用いたBIOMASS解析⁷⁾、及び漁獲量並びに単位漁獲努力量当たり漁獲量の動向⁸⁾から、1981~1984年のケンサキイカ資源は乱獲状態でないと判断され、漁況予測等により効率的に漁獲することが推奨された⁹⁾。

1983~1985年には指定調査研究総合助成事業でフグ類資源の有効利用に関する研究が実施された⁹⁾¹¹⁾。本研究では¹¹⁾¹²⁾土井の迅速解析法³⁾により1983年漁期の黄海・東シナ海産カラスの資源診断が行われ、資源が乱獲状態にあり、漁獲努力量を現状より55%削減する必要があることが示された。さらに、この結果にトラフグの資源診断結果²⁾も併せて、対象資源の回復を図る対策の必要性が指摘された¹¹⁾。

1984年からは山口県単独事業で外海漁業管理技術開発調査研究が開始された¹³⁾。本研究はそれまで長年実施してきた沖合域における低利用・未利用漁場の開発から大きく方針転換したものであった。本研究の目的はマイワシからカタクチイワシへの魚種交替期にあたり、大きな資源変動が起こりつつある中で、漁業者から要望の強

い資源の変動に対する的確な解析と予測を実施し、計画的な操業の指針とすることであった。本研究は当初、魚群分布調査、いわし類加入機構調査、漁場環境調査、及びもじゃこ分布調査から成り、調査結果はその都度、「漁海況情報」として印刷されて郵送または FAX で県内漁業協同組合等に情報提供された¹³⁾。

1985年には林¹⁴⁾により東シナ海産アカアマダイの漁業生物学的研究の成果が報告された。林¹⁴⁾は1976~1980年のあまだい延縄漁業のデータを用いて土井の迅速解析法²⁾により資源診断を行い、東シナ海産アカアマダイ資源は乱獲状態にあり、適正水準に回復させるためには漁獲努力量を35%削減する必要があることを指摘した。

1986~1990年には地域性重要水産資源管理技術開発総合研究で秋田県、京都府、長崎県との共同による対馬暖流域のサザエ資源を対象とした調査研究が行われた。本研究では1989年の黄波戸及び宇田郷地先資源について土井の迅速解析法²⁾を用いて資源解析が行われた結果、漁獲開始年齢を3歳として資源を適正水準にするためには漁獲努力量を黄波戸地先で27.2%、宇田郷地先で34.4%に減少させる必要があることが報告された^{15,16)}。また、殻高制限は当面完全加入(3歳)以前の個体(60mm未満)からとすることが提言された^{15,16)}。

以上のとおり、1980年代のほとんどの研究では資源を定常状態と仮定して土井の迅速解析法²⁾を用いて資源診断が行われた。また、研究上、漁獲努力量の削減等の資源管理措置は示されたが、直接漁業者に提案し協議する体制は整備されておらず、資源管理が実行されることはなかった。

これに対して、1988~1990年には資源管理の実行を目的とした広域資源培養管理推進事業が国の補助事業として全国的に展開された。同事業は地先海面の範囲を越えて移動する魚種(広域種)のうち栽培による放流魚種及び資源の減少傾向から合理的利用の推進が必要な魚種を対象としたものである。山口県は日本海西ブロックに属し、マダイ(栽培資源)とヒラメ(天然資源)を対象として事業を実施した^{17,19)}。

本事業の特徴の1つとして、ヒラメでは(社)日本水産資源保護協会作成の「汎用モデル」、マダイでは(社)日本栽培漁業協会作成の「放流効果評価モデル」を使用したシミュレーションが行われ、資源管理手法が探索されたことが挙げられる²⁰⁾。この「汎用モデル」の開発者の1人である田中²¹⁾は、シミュレーションモデルの問題点として、①漁労体類型化の方法、②計算対象とする漁法、魚種の取捨選択の問題、③評価項目の選択、④初期設定の問題、⑤諸仮定の妥当性、⑥計算に必要な特性値が多いことを指摘している。

本事業は、事業実施体制として、ブロックと県それぞれ

れに行政、研究者、学識経験者及び漁業者代表を参画させた資源培養管理推進協議会及び各調査部会が設置され、さらに県の協議会の下には漁業者検討部会が設置され、漁業者の合意を得ながら事業を実施する体制が整備されたことがもう1つの大きな特徴であった。

1990年代

広域資源培養管理推進事業の3年間の成果として、1991年3月に山口県資源培養管理推進指針²⁰⁾が策定された。ヒラメの指針では、日本海西ブロック共通の管理項目として、①禁漁期の設定(産卵期の一時期(1カ月))、②禁止区域の設定(全漁場の5%)、体長制限(全長25cm以下再放流)、山口県単独の管理項目として、①網目の拡大(網目の拡大、予備網の反数制限)、操業反数の規制(反数の上限設定、操業日数の規制)、③種苗放流(放流目標280千尾)が提示された。また、マダイの指針では、ブロック共通の管理項目として、①人工種苗放流(4,000千尾(ブロック全体))、②体長制限(尾叉長13cm以下再放流)、③放流手法の改善(添加効率の向上0.08→0.2)、山口県単独の管理項目として、①人工種苗放流(700千尾(山口県日本海))、②保護区域の設定(放流海域周辺1km四方放流後1カ月)、③操業日数の削減(定期休漁日の設定)が提示された。

1991~1992年には前事業を継承し、具体的な管理体制の整備を目指す資源管理型漁業推進総合対策事業が実施され、広域回遊資源としてマダイとヒラメの資源管理計画策定のための調査とモニタリング調査マニュアルの作成が行われた^{22,23)}。また、1991年3月に策定されたマダイとヒラメの資源培養管理指針は、地区漁業者検討会に提示され、その後何度も協議が重ねられ、管理内容が修正された上で、最終的に山口県資源管理型漁業推進協議会で資源管理計画として承認を得て、1993年8月から資源管理が実行に移された²⁴⁾。

この資源管理制度は科学的な管理方策の実現に向けた画期的な取組として評価される一方で、あくまで法的強制力や補償の無い自主的管理であったため、馬場²⁵⁾により次のような問題点が指摘されている。①漁業者間の議論が結局は漁業者間の利害調整の域を出ないという結果に終わることがあり得る。②科学的な根拠に基づく効果的な管理方策の提案がなされたとしても、漁業者の合意を得ることは容易ではなく、結果として提案とは別の妥協の産物としての穏やかな管理方策しか採用できないという事態が起こり得る。このような視点から見ると、山口県のマダイとヒラメの資源管理計画についても、漁業者の合意を得るために穏やかな管理方策に修正されたことは否定できない。

1991~1992年には同事業の地域重要資源として萩湾

地区のアワビについて調査が行われ²⁶⁾、1992年に資源管理指針が策定された。同指針では産卵期、ないしは産卵期直前のアワビを保護する目的で禁漁期を設けることが提案された。さらに、1992～1994年には同事業の地域重要資源として油谷湾のクルマエビ、和久地区のアワビを対象に資源調査が行われ、1994年に資源管理指針が策定された^{33,34)}。同指針ではクルマエビについては稚エビの生育場所を確保するために保護区の設定³³⁾、アワビについては産卵期、ないしは産卵期直前のアワビを保護する目的で10月下旬に禁漁期を設けること³⁴⁾が提案された。これらの地域重要資源の資源状態については、漁獲量の経年変化が示されているだけで^{33,34)}、どのような根拠で規制措置が導かれたのか明確に記載したものは見当たらなかった。

1993～1996年には同事業でヒラメの次の天然資源としてイサキを対象とした調査が行われ²⁷⁻³¹⁾、1996年に山口県広域資源管理推進指針が策定された³²⁾。イサキについては1986年以降漁獲量が比較的安定していたこと、及び土井の迅速解析法³⁾による解析結果から、主漁場である見島漁場及び汐巻漁場ともに資源は乱獲状態にはないと判断された^{30,32)}。しかし、見島漁場では将来の資源状態の悪化が懸念されたことから、全長20cm未満のイサキの再放流、汐巻漁場ではそれまでの自主管理の継続が規制措置として提案された³²⁾。その後、漁業者検討会、地区検討会、資源管理型漁業推進協議会の承認を得て、翌年の1997年から資源管理計画が開始された。本種については資源が乱獲状態になく、マダイ及びヒラメのように多項目の規制を設ける必要が無かったため、マダイ及びヒラメのときほど管理計画の開始までに時間と労力を費やすことはなかった。

1995～1997年には資源管理等沿岸漁業新技術開発事業として小型底曳網手繰第1種漁業の選択漁具改良実証試験が水産大学校と共同で行われた³⁵⁻⁴⁰⁾。本試験は同漁業で混獲されたい類の幼魚を逃がし、オキヒイラギ等の有用小型魚を選択的に漁獲する漁具の開発を目的として実施された。試験操業の結果、2段式分離漁獲装置については、その有効性は認められなかった^{37,38,40)}。また、目合別漁獲調査によると、8節目合の袋網は12節目合の袋網に比べ、水揚げ量に大きな影響を与えずに尾数投棄率を減少させたことから、袋網の目合は8節が適切とされた^{35,36,39)}。しかし、マアナゴなどが抜けるという理由で漁業現場への普及には至らなかった。

1997年1月からサンマ、スケトウダラ、マアジ、マイワシ、さば類(マサバ及びゴマサバ)、ズワイガニの6種にTAC制度(漁獲可能量制度：水産資源の維持・回復のために魚種を指定してその年間漁獲量を規制する制度)が初めて導入された。TACは、まず魚種別資源評価研究

チームがABC(生物学的な可能漁獲量)を算出し、それを基に国が漁業経営の状況などを勘案し、さらに中央漁業政策審議会の意見を入れて検討を行い決定された。翌1998年からは対象種にスルメイカが追加された。これらの魚種のうち山口県に關係する魚種はマアジ、マイワシ、さば類、スルメイカで、これらの4種について割当量が配分され、県は山口県の海洋生物資源の保存及び管理に関する計画を策定し、管理を行った。

TAC制度について田中⁴¹⁾は、1996年に批准した国連海洋法条約の遵守のために形式的に導入したにすぎず、これをもとに本気で資源管理に取り組む姿勢はない制度で、2015年からTAC=ABCが原則とされるまではTACがABCを20年近く超え続けるという異常な事態が起っていたと批判している。

制度導入に伴い、漁獲量をリアルタイムに把握するため、主要産地市場と県庁(出先機関、研究機関を含む)と水産庁をオンラインで結ぶネットワーク(漁獲管理情報システム)が構築された。

1998～2002年には複合的資源管理型漁業促進対策事業(国庫補助事業)でふぐ延縄漁業を対象とした研究が行われた⁴²⁻⁴⁶⁾。本事業は、従来の単一魚種を対象とした資源管理の手法に加え、新たな漁業種類または複数の魚種を対象として、漁業収入の増大等漁業経営に反映する取り組みを展開していくことを目的とした。具体的な調査としては、ふぐ類(トラフグ、マフグ、シロサバフグ)を対象とした資源調査、ふぐ延縄漁業の経営調査、改良漁具試験が行われた。これらの調査の結果、マフグの産卵期や性比⁴⁷⁾、サルカン付き延縄漁具の有効性⁴⁸⁾などが報告されたが、担当者が5年間で3人も替わったせいもあり、複数のふぐ類をどのように利用すれば漁業経営に有益かを示すような結果は示されなかった。

2000年代

資源評価調査事業(国委託事業)が2000年から開始され、山口県は17魚種(マアジ、マサバ、マイワシ、ウルメイワシ、カタクチイワシ、マダイ、ヒラメ、キダイ、あまだい類、ケンサキイカ、ヤリイカ、ソウハチ、ムシガレイ、トラフグ、タチウオ、スルメイカ、ブリ)について関係水産研究所及び道府県と共同で資源評価を実施するようになった⁴⁹⁾。資源評価の手法として、多くの魚種で年齢別漁獲尾数を基礎データとするVPA(コホート解析)が用いられた。また、ABCの算定に当たり、毎年ABC算定のための基本規則が水産庁及び(独)水産総合研究センター(現国立研究開発法人水産研究・教育機構)によって定められ、漁獲方策及び使用する情報によって類別した規則が示された。

ABC算定の問題点について平松⁴⁹⁾は、①資源評価の不

確実性・不安定性、②資源評価・管理手法の検討不足、③不確実性の扱いの共通認識・共通理解の欠如、④管理目標の合意の欠如を指摘している。

魚種別系群別の資源評価結果はダイジェスト版が2001年以降、詳細版が2003年以降、(独)水産総合研究センターのホームページで公表されるようになった。また、2006年からは上記魚種の資源評価結果に山口県の漁獲量の推移を追加した山口県版資源評価票が山口県水産研究センター(以後、県センターという。)により作成され、山口県水産振興課のホームページで公開されるようになった。

2002年には山口県水産部の情報ネットワークとして海鳴りネットワークが構築された。この中で漁獲管理情報ネットワークの漁獲データは県センター外海研究部のサーバに集積され、さらに漁模様システムを通じて変換・集計され⁵⁰⁾、市況情報・漁獲情報としてネット上で公開された。しかし、この海鳴りネットワークシステムは毎年発生する不具合に対応する維持費が十分に確保されていなかったため、数年後には不具合に対応できず、機器も更新できずに廃止された。

2003～2004年には多元的な資源管理型漁業の推進事業(国庫補助事業)であまだい類を対象とした研究が行われた^{51,52)}。本事業は従来の資源増大を目的とした資源管理手法(量的管理)に加え、漁業生産コスト低減の取り組み(コスト管理)及び生産物の付加価値を向上の取り組み(質的管理)を行い、漁業収入の増大等を図り漁業経営に反映させることを目的とした。

2004年からあまだい類の資源回復計画策定調査事業も実施され、翌2005年にあまだい延縄漁業及びその他の釣り漁業を対象として産卵期の8月、1カ月間あまだい類の漁獲を禁止する漁獲努力量削減措置が漁業者に提案された^{53,54)}。その結果、禁漁期を8月14日から20日までに短縮することで漁業者の了解を得て、2006年7月に県により山口県日本海海域あまだい類資源回復計画が策定された⁵⁵⁾。

あまだい類の質的管理手法としては、鮮度保持のために、締めと血抜きを行い、速やかに下水で魚体を冷却する方法がよいことがわかり^{51,56)}、2004年に漁業者に報告された。その結果、即殺・血抜き後速やかに冷却したあまだいを「血抜きアマダイ」とし、統一したシールを貼って市場に出荷することになった^{51,56)}。しかし、この取り組みは、手間に相応する単価の向上が見られなかったことから、数年後に消滅した。

2005年4月には九州・山口北西海域におけるふぐはえ縄漁業を対象として九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画が国により策定された⁵⁷⁾。本計画の漁獲努力量削減措置は、西日本延縄漁業連合協議会における自主規

制措置の休漁期間よりも若干延長した休漁期間の設定及び全長制限(全長25cm以下の小型魚の再放流)が採用された。しかし、この措置は実効性に乏しく、その後も資源の低位、減少傾向は続いている⁵⁸⁾。

2005～2008年には沖合底びき網漁業(2そうびき)を対象として多様な漁獲対象資源を包括して資源回復を目指す包括的資源回復調査事業が行われ^{59,62)}、2006年に国により日本海西部・九州西海域底びき網漁業(2そうびき)包括的資源回復計画が策定された⁶³⁾。本計画は、回復計画終了(平成23年度)後の単位漁獲努力量当たりの漁獲量(1網あたり漁獲量)を引き上げることを目標として、沖合底びき網漁業については漁獲努力量削減措置として、①平成18年度に2隻(1組)の減船、②漁船の小型化(75トンから60トンへ)の検討、③小型魚を選択的に獲り控える改良漁具の導入の検討を実施するという内容であった⁶³⁾。

このうち、改良漁具の導入に関しては、2006～2007年の(独)水産総合研究センター開発調査センターによる調査結果⁷⁹⁾から、全長15cm以下の小型アカムツを保護するため、コッドエンドの上部を81mmの角目網にすることが推奨され、2009年漁期から80mm角目網が試験導入された。その結果、小型魚混獲防止効果はあるが、大型魚が網目に刺さるという問題が出たため、2010年漁期から100mmの大目網(菱目)に変更され全船に導入された。さらに2018年からは60mmの角目網が試験導入された。

これらの沖合底びき網漁業に対する事業は、実質的に山口県に減船対策を導入するための取り組みであったが、県センターでは下関漁港を根拠地とする沖合底びき網漁業の操業実態^{59,62)}、キアンコウ^{64,66)}、アカムツ^{67,68)}、アカアマダイ^{69,70)}などの主要な漁獲対象資源⁷¹⁾及び投棄魚⁷²⁾について初めてデータを収集することができた。これらは今後、沖合底びき網漁業のあり方や資源利用について検討する際の基礎資料となる。

2007年からはトラフグ産卵親魚の保護を目的として、山口県漁業協同組合により毎年春に日本海側(通地区、萩地区)の定置網に入網する雌親魚の放流が開始された。放流する親魚には移動と産卵状況を調べるため標識が付けられ、2016年までに569尾が放流された⁷⁴⁾。この10年間に放流された親魚の産卵による資源への0歳魚の加入尾数を試算してみると、10年間のRPS(再生産成功率)の平均値が0.7(尾/kg)であることから⁵⁸⁾、親魚の平均体重を3kgとすると0歳魚の加入尾数は約1200尾となる。このようにこの取り組みによる0歳魚への加入効果はあまり高くないが、放流一再捕データを解析することにより産卵親魚の移動や産卵生態の解明につながり、将来的に効果的な産卵親魚保護手法の開発に貢献できる可

能性はある。

2010年代

資源回復計画は2011年に終了し、2011年からは県が資源管理指針を作成し、さらにその指針に沿って関係漁業者が資源管理計画を作成し、資源管理を実施する新たな資源管理体制が導入された。この体制の下で資源管理に取り組む漁業者に対しては、漁業共済・積み立てぶらすの仕組みを活用し、減収の補填が行われるようになった。

2011年には山口県日本海海域において魚種別管理として、トラフグ、あまだい類、いか類（ケンサキイカ、スルメイカ）、しいら類の4種、漁業種類別資源管理として①小型機船底びき網漁業、②機船船びき網漁業、③中型まき網漁業・小型まき網漁業、④さし網漁業、⑤建網漁業、⑥敷網漁業・すくい網漁業、⑦はえなわ漁業、⑧ひきなわつり漁業、⑨一本つり漁業、⑩大型定置網漁業、⑪小型定置網漁業、⑫採貝・採藻漁業の12の漁業種類で管理指針が作成された⁷⁶⁾。さらに魚種別管理として2014年にはい類、2015年にクロマグロが追加された。資源管理指針に基づく資源管理計画は、行政代表等で構成される山口県資源管理協議会により、後で管理の履行確認ができるように休漁日の設定や漁期短縮を主な管理内容として作成された。これらの資源管理計画は、漁業者にとって経営安定策としてのメリットは大きいですが、資源管理措置としては公的規制やこれまでの資源回復計画、各地の自主的資源管理を踏襲するもので、漁業及び資源の現状を科学的に評価して、新たな規制を加えるというものではなかった。また、資源管理指針の作成に県センターは関与しなかったが、資源解析に必要なデータが不足する中で、これだけ多くの漁業種類の管理指針の作成を任されたとしても、短期間に科学的な根拠に基づき実行可能な管理指針を作成することは困難であったと思われる。

2011年4月からは太平洋クロマグロの管理強化を図るため、日本海・九州西海域において動力漁船によりクロマグロを獲ることを目的とする漁業を営む者を対象として、届出制が導入され、さらに2014年からは承認制に移行し、漁獲実績の報告が求められた。2015年1月からは国内における未成魚（体重30kg未満）の漁獲管理が開始され、沿岸漁業においては全国を6ブロックに分けて上限管理に取り組むことになった。山口県は九州西ブロックに属し、その管理方針に基づき2015年4月に山口県太平洋クロマグロ漁獲上限管理細則を策定し、さらに10月に山口県太平洋クロマグロ資源管理協議会を立ち上げ、県の漁獲上限を超えないように管理していくこととした。2018年7月からは沿岸漁業のクロマグロTAC管理が開始され、小型魚（未成魚）に加え新たに大型魚も漁獲枠

が設定された。主に小型魚を漁獲する曳縄釣り漁業においては、出漁を控えたり、再放流をしたりすることは比較的容易である。しかし、定置網漁業においてはクロマグロを選択的に逃がす技術が確立されていない中で、再放流すれば他の魚種も逃がすことになり、また操業を控えることも水揚げの減少に直結するため、TAC管理の影響は大きい。

2013年3月には山口県独自の主体的な資源管理の取り組みとして、全長30cm未満のキジハタの採捕を禁止する委員会指示が発出され、10月に発効した^{76,77)}。この全長制限の目的は、産卵可能な親魚に成長するまで保護することによる資源の増大と単価の高いサイズになってからの漁獲による漁業所得の向上であった^{76,77)}。本来なら先に資源解析を行い、資源増大と経済性を考慮した漁獲規制を実施すべきであったが、資源解析に必要な特性値が揃っていなかったため、全長制限だけが先行して実施されることとなった。今後、速やかに資源解析を行い、全長制限の有効性を検証する必要がある。

資源管理とその研究の総括

以上のとおり、山口県日本海漁業の資源管理のほとんどは国の資源管理制度の方針と枠組みの中で、対象種や漁業を選定して実施されてきた。

このような中でキジハタの資源管理は、県独自で主体的に取り組んだ稀有な事例である。キジハタは、全国トップクラスの規模で種苗放流が継続されているので、今後、放流による資源添加効果を考慮した資源評価を実施して、管理効果の検証とより適切な管理手法の提示が必要であろう。

資源量及び漁獲量の将来予測に基づいて資源管理指針が策定されたマダイ、ヒラメ、イサキ及びあまだい類の資源管理実施後の5年間の漁獲量をみると、マダイとイサキでは漁獲量が増加したものの^{78,79)}、ヒラメとあまだい類については予測通りには増加しなかった^{80,81)}。その主な原因としては、①イサキを除く対象魚種は沖合漁業でもかなりの量が漁獲されているにも関わらず、管理の対象漁業からはずれていたこと、②短期間で資源解析をする必要があったため、予測モデルに再生産関係や加入量変動を考慮できなかったこと等による予測精度の問題、③資源管理措置があくまで漁業者の自主管理として、漁業者の合意を得る過程で資源管理指針よりも穏やかな内容に修正されたこと、④漁獲量が予測通りに上昇しない兆候が見られても、行政や研究担当者が数年おきに追加された管理対象種（漁業）の資源管理計画策定の対応に追われ、過去の資源管理計画を見直す作業に十分に組み込まなかったことなどが挙げられる。

これまでさまざまな資源管理の取り組みを実施してき

たにもかかわらず、近年の山口県日本海海域における漁業生産量・生産額は大きく減少している^{79,82)}。それは、これまでの資源管理が上記のような問題を抱えていることに加え、山口県において生産量及び生産額が多い魚種について実質的な資源管理が実施されてこなかったことに原因があると考えられる。今後は生産量や生産額が多い魚種を重点対象として本格的に資源管理を進めるべきである。とはいえ、本海域で生産量が多いマアジ、いわし類、さば類、ぶり類、サワラなどの魚種は多くが広域回遊種であるため、山口県単独での管理は不可能である。水産庁は今後、資源評価対象魚種については、原則として有用魚種すべてをカバーすることを目指し、生産量の多い魚種、早急に対応が必要な魚種をカバーした上で、都道府県から要請があった魚種を順次追加するとしている¹⁾ので、今後は国の新しい制度に則って主要魚種の漁獲量管理を進めていくことになるであろう。その際、漁業者に対して減収に対する補償あるいは支援策が不可欠であり、国もそれを考慮する方針を示している¹⁾。今後主要魚種について漁獲量管理が導入された場合、より価格の高い時期やサイズを選択して漁獲したり、鮮度保持技術を向上させたりして、少ない漁獲量でもより高く売って漁獲金額を上げることが重要になってくる。主要魚種を漁獲する漁業は県の主幹漁業でもあるので、主要資源の減少と主幹漁業の衰退を食い止めるために、今後優れた漁業技術の伝承、より効率的な漁獲技術及び鮮度保持技術の開発が試験研究の重要な課題となる。また、多くの魚種の漁獲量及び漁獲努力量を迅速に把握する体制と資源評価に必要な調査データをより効率的に収集する体制を構築することも必要である。県センターの人員が減少している中でこれらのニーズに的確に対応するためには、今後研究体制の再編、研究人材の育成及び山口県水産行政担当職員との強固な連携が不可欠である。

文 献

- 1) 水産庁：水産政策の改革について。
(<http://www.jfa.maff.go.jp/kikaku/kaikaku/attach/pdf/suisankaikaku-3.pdf>, 2018年7月30日)
- 2) 尾串好隆 (1981)：東シナ海におけるトラフグの資源について。昭和55年度西海区水研ブロック底魚会議議事録, 21-23.
- 3) 土井長之 (1977)：メキシコ産あわびの資源診断—迅速解析手法の一例として—。日本水産資源保護協会月報, (154), 5-13.
- 4) 尾串好隆 (1980)：トラフグの成長について。第28回西水研ブロック底魚会議議事録, 8-9.
- 5) 尾串好隆 (1987)：黄海・東シナ海産トラフグの年齢

- と成長。山口県外海水産試験場研究報告, 22, 30-36.
- 6) 河野光久・小川嘉彦・森脇晋平・山田英明・武田雷介 (1986)：標識放流法による”シロイカ”資源特性値の推定。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), 68-74.
- 7) 山田英明・河野光久・森脇晋平・武田雷介 (1986)：日本海西部沿岸域に出現する”シロイカ”(Loligo edulis)の資源量推定。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), 75-90.
- 8) 河野光久・小川嘉彦・武田雷介・山田英明・森脇晋平 (1986)：日本海西部沿岸域に生息する”シロイカ”の資源管理。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), 124-133.
- 9) 山口県外海水産試験場 (1984)：昭和58年度指定調査研究総合助成事業フグ類資源の有効利用に関する研究報告書. 1-28.
- 10) 山口県外海水産試験場 (1985)：昭和59年度指定調査研究総合助成事業フグ類資源の有効利用に関する研究報告書. 1-28.
- 11) 山口県外海水産試験場 (1986)：指定調査研究総合助成事業フグ類資源の有効利用に関する研究報告書 (昭和58年度～60年度総括). 1-34.
- 12) 岩政陽夫 (1988)：黄海・東シナ海産カラスの資源診断。山口県外海水産試験場研究報告, 23, 20-27.
- 13) 中原民男・小川嘉彦・岩政陽夫・河野光久 (1985)：外海漁業管理技術開発調査研究Ⅰ 魚群分布調査。昭和59年度山口県外海水産試験場事業報告, 21.
- 14) 林 泰行 (1985)：東シナ海産アカアマダイの漁業生物学的研究。山口県外海水産試験場研究報告, 20, 1-95.
- 15) 井谷 匡志 (1991)：資源管理。地域性重要水産資源管理技術開発総合研究報告書 (対馬暖流域のサザエ資源)。対馬暖流域サザエ共同研究チーム, 137-142.
- 16) 角田信孝 (1995)：黄波戸、宇田郷両地先におけるサザエの資源解析と診断。山口県外海水産試験場研究報告, 25, 23-29.
- 17) 山口県 (1989)：昭和63年度広域資源培養管理推進事業報告書. 1-45.
- 18) 山口県 (1990)：平成元年度広域資源培養管理推進事業報告書. 1-56.
- 19) 山口県 (1990)：平成2年度広域資源培養管理推進事業報告書. 1-34.
- 20) 山口県 (1991)：山口県広域資源培養管理推進指針. 1-39.

- 21) 田中栄次 (1996) : 資源管理技術とソフトウェア. 資源管理型漁業—その手法と考え方— (改訂版) (平山信夫編), 成山堂書店, 東京, 126-159.
- 22) 日本海西ブロック山口県 (1992) : 平成 3 年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書 (広域回遊資源). 1-19.
- 23) 日本海西ブロック山口県 (1993) : 平成 4 年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書 (広域回遊資源). 1-42.
- 24) 河野光久 (1994) : マダイとヒラメの資源管理がスタートしました! 水試だより, 山口県外海水産試験場・山口県外海水産振興協議会, (50), 5.
- 25) 馬場 治 (2003) : 我が国の漁業管理の現状と課題. 水産資源管理学 (北原 武編著), 成山堂書店, 東京, 64-90.
- 26) 藤井修生・由良野範義・角田信孝 (1993) : 萩湾地区アワビ資源調査. 平成 4 年度山口県外海水産試験場事業報告, 51.
- 27) 日本海西ブロック山口県 (1994) : 平成 5 年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書 (広域回遊資源). 1-24.
- 28) 日本海西ブロック山口県 (1995) : 平成 6 年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書 (広域回遊資源). 1-18.
- 29) 日本海西ブロック山口県 (1996) : 平成 7 年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書 (広域回遊資源). 1-17.
- 30) 河野光久 (1997) : 山口県沿岸海域におけるイサキの資源生物学的研究. 山口県外海水産試験場研究報告, 26, 41-53.
- 31) 河野光久 (1997) : イサキの資源管理について. 水試だより, 山口県外海水産試験場・山口県外海水産振興協議会, (59), 6-8.
- 32) 日本海西ブロック山口県 (1996) : 山口県広域資源管理推進指針 対象魚種イサキ. 1-14.
- 33) 藤井修生・角田信孝・水津洋志・桑原賢也 (1995) : 油谷湾クルマエビ資源調査. 平成 6 年度山口県外海水産試験場事業報告, 38-40.
- 34) 藤井修生・角田信孝・水津洋志 (1995) : 和久地区アワビ資源調査. 平成 6 年度山口県外海水産試験場事業報告, 41-42.
- 35) 高木和昭・檜山節久 (1996) : 資源管理等沿岸漁業新技術開発調査事業 (選択漁具・漁法技術改良実証試験). 平成 7 年度山口県外海水産試験場事業報告, 55-56.
- 36) 山口県 (1996) : 平成 7 年度資源管理等沿岸漁業新技術開発事業報告書 (小型底曳網手繰第 1 種漁業の選択漁具改良実証試験). 1-96.
- 37) 山口県 (1997) : 平成 8 年度資源管理等沿岸漁業新技術開発事業報告書 (小型底曳網手繰第 1 種漁業の選択漁具改良実証試験). 1-163.
- 38) 高木和昭・檜山節久・井上 昭・藤石昭生・永松公明 (1997) : 資源管理等沿岸漁業新技術開発調査事業 (選択漁具・漁法技術改良実証試験). 平成 8 年度山口県外海水産試験場事業報告, 49-53.
- 39) 井上 悟・檜山節久・永松公明・藤石昭生 (2000) : 小型底びき網手繰第 1 種漁業 (小手繰網漁業) の適正目合. 水産大学校研究報告, 48(3), 207-219.
- 40) 井上 悟・檜山節久・永松公明・藤石昭生 (2000) : 小型底びき網手繰第 1 種漁業 (小手繰網漁業) の分離漁獲装置開発試験—II, 48(4), 259-271.
- 41) 田中栄次 (2015) : 水産資源管理学—水産資源の持続的利用とその管理—. (<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~hermit/水産資源管理学.pdf>, 2018 年 7 月 27 日)
- 42) 川村邦彦・渡辺俊輝 (2000) : 複合的資源管理型漁業促進対策事業. 平成 10 年度山口県外海水産試験場事業報告, 38-53.
- 43) 川村邦彦・渡辺俊輝 (2001) : 複合的資源管理型漁業促進対策事業. 平成 11 年度山口県水産研究センター事業報告, 42-51.
- 44) 吉松隆司 (2002) : 複合的資源管理型漁業促進対策事業. 平成 12 年度山口県水産研究センター事業報告, 14-19.
- 45) 天野千絵・吉松隆司・小林知吉 (2003) : 複合的資源管理型漁業促進対策事業. 平成 13 年度山口県水産研究センター事業報告, 13-14.
- 46) 天野千絵・小林知吉 (2003) : 資源管理体制強化実施推進事業 (複合的資源管理型漁業促進対策事業). 平成 14 年度山口県水産研究センター事業報告, 13.
- 47) 小林知吉 (2006) : マフグ *Takifugu porphyreus* の生殖腺熟度の季節変化と性比. 山口県水産研究センター研究報告, (4), 73-80.
- 48) 渡辺俊輝・小林知吉・吉岡貞範・吉松隆司・天野千絵 (2002) : 資源評価調査事業. 平成 12 年度山口県水産研究センター事業報告, 1-3.
- 49) 平松一彦 (2008) : TAC 魚種の資源評価と資源管理. 平成 18 年度サンマ関係資源評価調査成果報告書第 56 回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告. 独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所八戸支所, 224-239.
- 50) 河野光久・齋藤秀郎・繁永裕二 (2003) : 海鳴りネットワークの漁模様システム構築に際して 山口県日本海側魚市場で用いている魚種名について. 平成

- 14年度山口県水産研究センター事業報告, 17-22.
- 51) 天野千絵・小林知吉・嶋内 潤・吉村栄一・保井勝敏 (2004) : 多元的な資源管理型漁業の推進事業 (あまだい類) . 平成 15 年度山口県水産研究センター事業報告, 14-20.
- 52) 河野光久・天野千絵・嶋内 潤・吉村栄一 (2005) : 多元的な資源管理型漁業の推進事業 (日本海域) . 平成 16 年度山口県水産研究センター事業報告, 16-17.
- 53) 河野光久・小林知吉 (2006) : 地先型資源回復計画調査事業 (あまだい類) . 平成 17 年度山口県水産研究センター事業報告, 15.
- 54) 河野光久 (2005) : 日本海南西山口県沖におけるアカアマダイの資源管理に関する研究—II アカアマダイ資源の診断と管理, 山口県水産研究センター研究報告, (3), 61-65.
- 55) 山口県 : 山口県日本海海域あまだい類資源回復計画. (http://www.jfa.maff.go.jp/j/suisin/s_keikaku/pdf/yamaguchi_amadai.pdf, 2018 年 7 月 30 日)
- 56) 嶋内 潤 (2005) : 血抜きアマダイの品質評価. がいかい, 山口県水産研究センター外海研究部・山口県外海水産振興協議会, (71), 2-3.
- 57) 水産庁 : 九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画. (<http://www.jfa.maff.go.jp/kyusyu/sigen/pdf/torafugukeikaku.pdf>, 2018 年 7 月 30 日)
- 58) 水産庁 : 平成 29 (2017) 年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価. (<http://abchan.fra.go.jp/digests2017/details/201770.pdf>, 2018 年 7 月 30 日)
- 59) 小林知吉・河野光久 (2006) : 包括的資源回復計画調査事業 (沖合底びき網) . 平成 17 年度山口県水産研究センター事業報告, 16-23.
- 60) 河野光久・天野千絵 (2007) : 包括的資源回復計画調査事業 (沖合底びき網) . 平成 18 年度山口県水産研究センター事業報告, 27-28.
- 61) 河野光久・天野千絵 (2008) : 包括的資源回復計画調査事業 (沖合底びき網) . 平成 19 年度山口県水産研究センター事業報告, 38.
- 62) 河野光久・天野千絵 (2009) : 包括的資源回復計画調査事業 (沖合底びき網) . 平成 20 年度山口県水産研究センター事業報告, 26.
- 63) 水産庁 : 日本海西部・九州西海域底びき網漁業 (2 そうびき) 包括的資源回復計画. (http://www.jfa.maff.go.jp/j/suisin/s_keikaku/pdf/nihonkaiseibukyusyunisi_sokobiki.pdf, 2018 年 7 月 30 日)
- 64) 河野光久 (2010) : 日本海南西海域におけるキアンコウの資源管理に関する研究—I 沖合底びき網によるキアンコウの漁獲実態. 山口県水産研究センター研究報告, (8), 31-36.
- 65) 河野光久 (2010) : 日本海南西海域におけるキアンコウの資源管理に関する研究—II キアンコウの資源解析の試み. 山口県水産研究センター研究報告, (8), 37-44.
- 66) 河野光久 (2011) : 日本海南西海域におけるキアンコウの生物特性. 山口県水産研究センター研究報告, (9), 115-118.
- 67) 河野光久 (2010) : 日本海南西海域におけるアカムツの年齢と成長. 山口県水産研究センター研究報告, (8), 45-48.
- 68) 河野光久 (2011) : 対馬海峡におけるアカムツの成熟および産卵. 山口県水産研究センター研究報告, (9), 119-124.
- 69) 河野光久 (2011) : 日本海南西海域における沖合底びき網によるアカアマダイの漁獲実態. 山口県水産研究センター研究報告, (9), 105-110.
- 70) 河野光久 (2011) : 日本海南西海域におけるアカアマダイの資源動向. 山口県水産研究センター研究報告, (9), 111-114.
- 71) 河野光久 (2010) : 山口県日本海沖合域で沖合底びき網によって漁獲された魚類. 山口県水産研究センター研究報告, (8), 49-52.
- 72) 河野光久・小林知吉 (2008) : 日本海南西海域で操業する沖合底びき網による漁獲物の投棄量と種組成. 山口県水産研究センター研究報告, (6), 25-29.
- 73) 独立行政法人水産総合研究センター開発調査センター (2008) : 平成 18 年度海洋水産資源開発調査事業報告書 (資源対応型 : 沖底混獲回避<日本海西部・三陸沖海域>) . 1-25.
- 74) 馬場俊典・内田喜隆 (2018) : 漁業生産増大推進事業 (トラフグ) . 平成 28 年度山口県水産研究センター事業報告, 39-42.
- 75) 山口県 : 山口県資源管理指針. (<http://www.jfa.maff.go.jp/form/pdf/28yamaguchi.pdf>, 2018 年 7 月 23 日)
- 76) 南部智秀 (2014) : 再放流に効果あり! ~大きく育てよう山口のキジハタ~. 水産研究センターだより, 山口県水産研究センター, (7), 1.
- 77) 中島 均 (2013) : 県民の協力でキジハタ資源増大を目指す~全長 30cm 以下のキジハタ採捕禁止~. 豊かな海, (30), 3-5.
- 78) 山口県 : 平成 29 年版山口県日本海側重要魚種の資源評価マダイ. (<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/data/4/c/1/4c10db401e069bb5e1c97bcb88b30563.pdf>, 2018 年 7 月 23 日)

- 79) 中国四国農政局山口県統計・情報センター (2003) : 第50次山口農林水産統計年報水産編。
 80) 山口県:平成29年版山口県日本海側重要魚種の資源評価ヒラメ。(http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/data/2/a/0/2a0e9f7a724d0084fcd3443e19be7a3c.p df.2018年7月23日)

- 81) 河野光久・内田喜隆 (2018) :資源管理調査事業(あまだい類).平成28年度山口県水産研究センター事業報告,7.
 82) 中国四国農政局山口農政事務所 (2003) :第56次山口農林水産統計年報平成20年~21年.

付表 山口県日本海漁業における資源管理とその研究の年表

年	資源管理とその研究内容	文献番号
1981	黄海・東シナ海産トラフグ資源診断	2
1981-1985	地域性重要水産資源管理技術開発総合研究(ケンサキイカ)	6-8
1983-1985	指定調査研究総合事業(フグ類)	9-12
1984-	外海漁業管理技術開発調査研究	13
1985	東シナ海産アカアマダイ資源診断	14
1986-1990	地域性重要水産資源管理技術開発総合研究(サザエ)	15, 16
1988-1990	広域資源培養管理推進事業(マダイ, ヒラメ)	17-20
1991	山口県資源培養管理推進指針(マダイ, ヒラメ)策定	20
1991-1992	資源管理型漁業推進総合対策事業(マダイ, ヒラメ)	22, 23
1991-1992	資源管理型漁業推進総合対策事業(萩湾地区アワビ)	26
1992	萩湾地区アワビ資源管理指針策定	26
1992-1994	資源管理型漁業推進総合対策事業(油谷湾クルマエビ, 和久地区アワビ)	33, 34
1993	マダイ, ヒラメの資源管理計画開始	24
1993-1996	資源管理型漁業推進総合対策事業(イサキ)	27-31
1994	資源管理指針策定(油谷湾クルマエビ, 和久地区アワビ)	33, 34
1995-1997	資源管理等沿岸漁業新技術開発事業(小型底曳網第1種漁業)	35-40
1996	山口県広域資源管理推進指針(イサキ)策定	32
1997	イサキの資源管理計画開始	
1997	TAC制度導入(マアジ, マイワシ, さば類等)	
1998	TACにスルメイカ追加	
1998-2002	複合的資源管理型漁業促進対策事業(ふぐはえ縄漁業)	42-46
2000-	資源評価調査事業(マアジ, マサバ, マイワシ, ウルメイワシ, カタクチイワシ, マダイ, ヒラメ, キダイ, あまだい類, ケンサキイカ, ヤリイカ, ソウハチ, ムシガレイ, トラフグ, タチウオ, スルメイカ, プリ)	48
2002	海鳴りネットワーク構築	50
2003-2004	多元的な資源管理型漁業の推進事業(あまだい類)	51, 52
2004-2005	資源回復計画策定事業(あまだい類)	53, 54
2005	九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画策定	57
2005-2008	包括的資源回復調査事業(沖合底びき網漁業(2そうびき))	59-62
2006	山口県日本海海域あまだい類資源回復計画策定	55
2006-	山口県版資源評価票公開	
2007-	トラフグ雌親魚放流	74
2011-	山口県資源管理指針策定(トラフグ, あまだい類, いか類, しいら類, 小型機船底びき網漁業, 機船船びき網漁業, 中型まき網漁業・小型まき網漁業, さし網漁業, 建網漁業, 敷網漁業・すくい網漁業, はえなわ漁業, ひきなわつり漁業, 一本つり漁業, 大型定置網漁業, 小型定置網漁業, 採貝・採藻漁業)	75
2014	資源管理指針にばい類追加	
2015	資源管理指針にクロマグロ追加	
2015	クロマグロ未成魚(体重30kg未満)漁獲管理開始	
2018-	クロマグロTAC管理開始(大型魚追加)	

山口県日本海沿岸域における漁場整備の効果（総説）

河野光久

Effect of Fishing Ground Improvements in Coastal Waters off Yamaguchi Prefecture,
Southwestern Sea of Japan (Review)

Mitsuhisa KAWANO

This paper reviewed available knowledges on the effect of fishing ground improvements conducted in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan. These knowledges were divided into two categories: one is on the gathering effect of marine creatures at the moment and the other is on the effect of fisheries product in a year. Most knowledges belonged to the former category. It was considered that effect of fisheries product fluctuated by year, therefore long-term survey is needed.

Key words: Fishing ground improvements; Effect of fisheries product; Gathering effect of marine creatures

沿岸漁場の整備開発が体系的に国の施策として開始されたのは1952年の浅海増殖開発事業が最初で¹⁾、その後全国各地で規模を拡大しながら漁場整備が実施されてきた。山口県日本海沿岸域においても1952年以降長年、漁場整備が実施されてきたが、漁場整備の全貌とその効果については必ずしも明確にされていない。

本総説は山口県日本海沿岸域でこれまで実施された漁場整備とその効果調査の結果を経年的に追いながら、漁場整備の効果と効果調査の問題点を明らかにし、さらに今後の効果調査をいかにすべきかを検討することを目的とした。そのために、山口県水産研究センターの事業報告など既往文献を収集し、整備漁場のタイプ別に主要な効果調査の結果を整理した。なお、採用した効果調査の概要を年表として付表で示した。

浅海増殖漁場

山口県日本海沿岸域では投石が1952年から実施され、初期にはアコヤガイの増産を目的として各地で実施された²⁾。しかし、天然もののアコヤガイは殻高が低く、増養殖されたものでないと実用に供されなくなり、アコヤガイを対象とした投石は1~2年で中止され、その後アコヤガイからテングサ、ワカメ等の対象に切り替えられた²⁾。

本海域で実施された漁場整備の効果調査の報告は、テングサ等の増殖を目的とした投石事業について芳永³⁾によって初めて行われた。

下関市六連島地先では、1952~1956年度まで毎年テングサを対象とした投石（135~280m²/年）が行われ、

1953~1957年まで毎年生物相と現存量が調査された³⁾。その結果、効果は3年後頃から表れだし、その後逐年効果が顕著になり、1957年には1,992貫（7,470kg）、約160万円のテングサの水揚げがあったとされている³⁾。また、三見地先では1953~1955年度にテングサ及びワカメを目的とした投石が行われ、1957年に効果調査が実施された結果、ワカメは投石場所により品質が非常に左右され、また年により豊凶が激しく、投石効果をつかむことが困難であったと報告されている³⁾。このようにワカメは投石効果が不明確であったことに加え、1960~1961年頃から人工採苗技術が確立したことから、本種を対象とした投石は中止された³⁾。

1956~1960年度にはイワノリを対象としたコンクリート面造成が各地で行われた。

豊浦町黒井地先では1958年10月にコンクリート面（660m²）が造成され、翌1959年2月に効果調査が行われた⁴⁾。調査の結果、前年2月（ウップレイノリが大部分を占めていた）とは異なり、オニアマノリの群叢で占められたため、摘採量が63.8kgと前年の3.4倍になったが、種の交替がコンクリート面の造成による影響かどうかは不明とされている⁴⁾。コンクリート面の造成については、その後効果調査の報告は無く、効果は明確にはされていない。

1960年代前半にはウニ漁場の高度利用を目的とした投石が各地で行われた。

中村ら⁵⁾は、豊北町阿川地先では1961~1963年度までに550千円（650千円の誤り、535m³）の投石が行われ、

1962年から1964年の3年間で430千円のウニが漁獲されたので、この水揚げ高では4年で事業費が償却されるが、1966年には水揚げ高が60千円しかなかったので、650千円の償却には約10年を要し、投石による増産量のみを考えると償却年数はさらに長びくと報告している。このように投石によるウニの増産効果は年変動がかなりあることが窺える。投石によるウニの増産効果は場所によっても異なり、豊北町和久地先では1957年と1962年にウニを対象として合計538千円(443m³)の投石が行われ、1966年の水揚げ高が148千円であったことから、償却には3.6年を要するとされている⁹⁾。

中村ら⁵⁾は投石によるウニの増産効果について、長年月の間には石の埋没によって次第に効果が減少していく漁場があるというマイナス効果のほか、ウニ以外の副産物として売られる生物があるというプラスの効果もあること、及び本来なら投石によって増加した有用生物のみを効果対象とすべきであるが、投石以前にどの程度ウニなどの有用生物が生息していたか不明であることを効果算定の課題としている。このような課題があるものの、中村ら⁵⁾の報告は、投石によるウニの増産効果について、初めて費用対効果まで算出した点において特筆されるものである。

1960年代半ばまで投石といえば山石が使用され、補助対象もこれに限られていたが、山石は計量や投入に難点があった。こうした中、アワビを対象に異型コンクリートブロックが考案され、次第に注目されるようになったため、1960年代半ば以降このようなブロックも補助対象とされるようになった。

こうして異型コンクリートブロック(H型12個、0.36m²/個)が1962年11月に和久地先に古タイヤブロック(古タイヤ30本、2~3本ずつ連結)とともに沈設された⁶⁾。1963年5月に潜水調査が行われた結果、異型コンクリートブロックにはウニ類を含めた有用貝類が1m²当たり75個生息し、天然漁場の20個/m²の約3倍であったこと、及び古タイヤブロックについては冬期の時化のため流出し、2本連結ものが2組残っただけであったが、各々30個の有用貝類が確認されたことから、古タイヤブロックの蛸集効果も異型コンクリートブロックと遜色がなかったと報告されている⁶⁾。1970年度には同地先に平板体コンクリートブロック23個(0.49m²/個)が設置され、H型ブロックと平板体ブロックのバフンウニに対する蛸集効果が潜水により調査された⁷⁾。その結果、H型ブロックでは投入後2年、3年、4年で各々44.6個/m²、53.0個/m²、161.6個/m²と年々蛸集効果が高くなり、平板体ブロックではH型ブロックよりも早く効果が発現し、投入後1年、2年で各々37.8個/m²、121.2個/m²とより効果が高かったことが報告されている⁸⁾。

阿武町宇田郷地区ではアワビを対象として、1981年度に投石による幼稚仔保育場(2.2ha)、1987~1988年度に石詰礁による小規模増殖場(0.86ha)の造成が行われ、1989~1991年度に高山ら^{9,10)}によって効果調査が実施された。潜水調査の結果、アワビ、サザエ、ウニの造成漁場における1m²当たり採捕個数は、天然漁場のそれらよりも少なかった^{9,10)}。これは天然漁場ではアラメ、クロメが繁茂していたのに対し、造成漁場ではこれらが少なく、礁の表面には有節石灰藻が多く、汚れが目立つことが多かったためと考えられている。ただし、サザエとウニの小型個体が多かったことから、造成漁場はこれらの保護育成場にはなっていると考察されている^{9,10)}。

並型魚礁及び大型魚礁

1955年度から並型魚礁が各地先に設置された。

田万川町江崎地先では並型魚礁が1957年度から1962年度にかけて合計476個沈設された¹¹⁾。藤井¹¹⁾は須佐漁協の1957年から1962年の漁業種類別経営体数、漁獲量、及び標本船7隻による魚礁漁場の利用状況を調べた結果、漁獲量が1957年に比べ1960年には2倍以上になり、また標本船による人工魚礁における漁獲量が8,580kgで天然礁(13,012kg)よりも少ないが、水揚げ高は大差がなかったことから、人工魚礁では高級魚が漁獲対象となっていると報告している。

下関市安岡地先では1960年1月に設置された並型魚礁(80個)について、同年11月に潜水調査により魚類集積状況が調べられた¹²⁾。潜水調査の結果、潮上側にマハタ15~16尾(体長20~30cm)が浮遊し、二段積みブロックの間にインダイ、カサゴが若干見られただけであったが、漁業者に対する聞き取りでは、最も漁獲の多かった日には4隻でマハタ40尾、スズキ等40kgの水揚げがあったことから、時期的にはかなりの量が集積すると考えられている¹²⁾。

1959年度からは瀬付き魚等を対象としたより大規模な漁場の造成を目的として大型魚礁の設置が開始された。

豊北町から豊浦町地先では並型魚礁が1957年から1962年にかけて413個、大型魚礁が1959年から1962年にかけて3,432個沈設された¹²⁾。このうち1959年度に豊北町地先に沈設された大型魚礁(ブロック1,090個、約2,200m³)について、1年後の1960年11月に一本釣による釣獲調査が行われた結果、マハタ、チダイ等の若齢魚がわずかに漁獲されただけであった¹³⁾。その後1962年から1964年まで標本船5隻により並型魚礁及び大型魚礁を含む人工魚礁漁場と天然礁漁場の効果調査が実施された結果¹²⁾、人工魚礁漁場への出漁日数は年々増加したが、天然礁漁場のそれは減少傾向を示した。また、人工魚礁漁場の漁獲量は天然礁漁場より劣るものの、総漁獲

量に占める比率が年々上昇したため、1964年には水揚げ高に占める比率が66%、水揚げ高が2,616千円と天然礁漁場よりも高くなった。さらに1尾あたり平均魚価も人工魚礁漁場の方が優位であった。このように人工魚礁の生産効果が経年的に高まったのは、新規漁場の造成と相まって人工魚礁の利用価値が利用者に認識されてきたことが影響したと考えられている¹²⁾。

須佐・江崎地先では並型魚礁が1957年度から1962年度に836個、大型魚礁が1962年度に1,020個沈設された¹²⁾。1962年から1964年まで標本船5隻により効果調査が実施された結果、並型魚礁及び大型魚礁を含む人工魚礁漁場では豊北町から豊浦町地先と同様に漁獲量は天然礁漁場よりも劣るものの、総漁獲量に占める比率が年々上昇したため、1964年には総水揚げ高に占める比率が60%、水揚げ高が2,151千円と天然礁漁場よりも高くなった¹²⁾。

以上の結果から、並型魚礁及び大型魚礁は、漁獲量では天然礁漁場には劣るものの、単価の高い魚類が漁獲され、設置後年数が経つと水揚げ高に占める比率が上昇して生産効果が高まることが窺える。

人工礁漁場

1974年には沿岸漁業の安定的な発展と水産物の供給の増大を目的とする沿岸漁場整備開発法が成立し、1976年度には1982年度までの7カ年の沿岸漁場整備開発計画が策定された。これに伴い事業規模30,000m³以上の人工礁漁場造成事業が大規模増殖場開発事業、浅海漁場開発事業とともに沿岸漁場整備開発事業の目玉とされた^{1,14)}。

山口県日本海沿岸域では1977年度から1980年度に整備された阿武地区人工礁を初めとして、豊関地区(1980～1986年度)、大津地区(1981～1987年度)、外海北部地区(1983～1988年度)、外海南部地区(1987～1993年度)、見島地区(1988～1994年度)、油谷地区(1989～1995年度)、相島地区(1994～1997年度)、須佐地区(1998～2003年度)に順次、人工礁漁場が整備された。

人工礁漁場の調査は、当初は漁場整備開始の前年度に実施される事前調査が重視され、1983～1985年度の効果調査は山口県漁業調査船で延縄、籠、釣などによる漁獲試験が断片的に行われ、魚種別漁獲尾数が報告されたにすぎなかった¹⁵⁻¹⁷⁾。

その後1986～1987年度ようやく阿武地区人工礁漁場(7.8m型組立魚礁32基、5m型組立魚礁32基、2m角型魚礁3,660基)を含む阿武萩沖の効果調査が、阿武萩地区の漁業者101人を対象として木村¹⁸⁾により実施された。調査の結果¹⁸⁾、漁場タイプ別の年間CPUEは、1986年度には大型魚礁(37.9kg/隻・日)、その他の漁場(25.6kg/隻・日)、並型魚礁(24.9kg/隻・日)、阿武地区人工礁

(24.2kg/隻・日)、天然礁(17.8kg/隻・日)の順に大きかったが、1987年度には天然礁(25.0kg/隻・日)、阿武地区人工礁(23.8kg/隻・日)、大型魚礁(23.1kg/隻・日)、その他の漁場(21.1kg/隻・日)の順に大きく、年変動が認められた。また、人工魚礁漁場の単位体積当たり漁獲量は天然礁漁場に比べ1986年度に860倍、1987年度に189倍と大きく、人工礁漁場は漁獲を効率的に行う面で天然礁漁場よりも優れているとされている¹⁸⁾。前述のとおり、並型魚礁及び大型魚礁では天然礁よりも漁獲量が劣っていたことから、このことは人工礁漁場ではスケールメリットが大きく発揮されることを示している。

2004年4月から2005年3月には油谷沖人工礁(40,948空m³)を対象として、標本船調査(旋網、敷網漁業)、レーダーによる操業船分布調査(旋網、浮敷網以外の漁業)及び聞き取り調査(建網漁業)が山本ら^{19,20)}により行われた。本調査では漁業調査船のレーダーを利用する方法が初めて用いられ、レーダーと目視で操業船の操業位置、船名、漁業種類を確認し、調査翌日の当該漁船の魚種別漁獲量と魚市場の漁業種類別水揚げ隻数を把握することにより、造成漁場での漁業種類別漁獲量が推定された。その結果、油谷沖人工礁での年間漁獲量は旋網で12,871kg、一本釣で6,830kg、いか釣で1,446kg、延縄で428kgと推定され、これらの漁業による魚礁の空m³当たり生産量は0.52kg、これに建網の1.31kg/空m³を足して、同人工礁における魚礁の空m³当たりの漁獲量は1.83kg/空m³と推定された^{19,20)}。

海域総合開発漁場

1978年に第2次沿岸漁場整備開発計画(1982～1987年)の柱の1つである海域総合開発のモデル海域として長門海域(三隅町～豊北町の一部)が指定を受けた。長門海域では1982年度まで3年間の基本調査と2年間の設計調査を行った後、「種づくり」、「場づくり」、「人づくり」を三位一体とし、総合的に開発することを構想の基本として、水産資源を培養・管理し、計画的な生産体制を確立することを目的とした²¹⁾。そして1983年度から1993年度にかけて総事業費51億6千万円で事業が実施され、漁場整備(2,811ha、47億4千万円)及び種苗生産・中間育成施設の整備(4億2千万円)が行われた²¹⁾。

長門海域の効果調査として、1984年8月～1985年7月に標本船152隻による漁場の利用状況が調査された²²⁾。標本船調査の結果²²⁾、造成漁場の利用率は一本釣で6.5%、いか一本釣で0.95%、延縄で0.9%、旋網で10.35%、浮敷網で0%であった。また、1984年度までの事業量に対する生産効果は、一本釣でさば、マダイなど0.95kg/m³、17,376千円、いか釣でヤリイカ0.16kg/m³、6,719千円、延縄でメバル・カサゴ主体に0.02kg/m³、1,209千円、旋

網でマアジ、さば2.71kg/m³、40,419千円、合計で3.84kg/m³、66,424千円と推定された。こうして推定された魚礁の単位体積当たりの生産量は、その後20年間山口県における魚礁の原単位として用いられた。

1995年度から1997年度には長門海域の大規模人工礁漁場（西部海域礁：7.5m型3基、5m型4基、2m角型1630個；中部海域礁：5m型29基、3m型177基、2m角型7524個；東部各海域礁：7.5m型28基、5m型32基、3m型32個、2m角型2,080個）において、計量魚群探知機を用いた人工魚礁に蝟集する魚類の定量化のための最適計測手法を確立することを目的とした効果調査が水産大学校と共同で行われた²³⁻²⁵。共同調査の結果²⁵、魚群の分布を表す面積散乱強度から、季節ごとの魚群の蝟集が魚礁設置位置周辺で平均約75%と非常に高く、魚群の魚礁への蝟集効果が高いことが示された。また、魚群分布構造の3次元グラフィック表示、及び地理情報データベースに基づくデータの景観の画像化や環境との関係の迅速解析が可能となった。しかし、リアルタイムな魚種判別の手法については多くの問題が残った。

2004年4月から2005年3月には魚礁の原単位を改定するため、西部海域礁（51,000空m³）を対象として、標本船調査（旋網、敷網漁業）、操業船分布調査（旋網、浮敷網以外の漁業）及び聞き取り調査（建網漁業）が山本ら^{19,20}によって行われた。これらの調査の結果、西部海域礁での年間漁獲量は旋網で29,569kg、敷網で25,327kg、一本釣で5,264kg、いか釣で12,612kg、メンボすくい10,836kg、延縄で773kg、アナゴ筒で176kgと推定され、これらの漁業による魚礁の空m³当たり生産量は1.64kg、これに建網の1.31kg/空m³を足して、西部海域礁における魚礁の空m³当たりの漁獲量は2.95kgと推定された^{19,20}。この値は20年前の調査による3.84kg/空m³より23%減少したことになり、減少した要因としてはこの間の漁業者の高齢化と減少に伴う操業隻数の減少が大きく影響していると考えられる。

長門海域に造成した磯根漁場については、由良野ら²⁶により1991年度に日置町黄波戸地先（1983~1985年度2.094ha、1989年度1.559ha造成）、油谷町立石地先（1983~1984年度1.227ha造成）、及び阿川地先で効果調査が実施された。その結果、潜水調査では水深5m以浅で天然漁場の約2倍の海藻の生育が見られた。また、1年間の標本船調査により造成礁の漁獲量が推定され、漁獲量はアワビについては立石地先で期待増産量の2倍、黄波戸と阿川地先で期待増産量とほぼ同量、サザエについては黄波戸地先で期待増産量とほぼ同量、立石と阿川地先で期待増産量より少なかったと報告されている²⁶。ただし、これらの期待増産量の値については確認ができなかった。角田・水津²⁷は、三隅町野波瀬地先の造成漁

場（1983年度：幸島北側1.326ha、1991年度：洲の鼻0.876ha造成）で1993年度に潜水による枠取り調査を実施した結果、幸島北側ではアカウニが多く最大10個体/4m²、天然漁場の生息個体数（平均0.3個体/4m²）より高い値を示したことが、及び洲の鼻ではキタムラサキウニが最大で21個体/4m²と多かったことから、野波瀬地先ではウニ類に対する育成効果が高いと考察している。

マリノベーション構想関連魚礁

1985年7月に水産庁が、200カイリの定着と周辺水域における高度利用の必要性の高まり、漁業に関連する新技術の進展、海洋性レクリエーションの進展等水産業を巡る新しい情勢に対応し、水産業を核として沿岸域及び沖合水域の総合的な整備開発を図り、消費者ニーズに合った水産物の安定供給と地域振興を図ることを目的として「マリノベーション構想」を打ち出した²¹。

山口県は1987年7月、下関市から豊北町沿岸・沖合域を対象にマリノベーション構想「マリンテクノひびき灘構想」を策定し、その開発整備方策の1つとして、マダイ、ヒラメなどの保護・育成海域（ナーサリー）の造成を採用した²¹。

1988年度にはナーサリー造成のための新技術として、豊浦町川棚地先に①電着育成礁（海水中の金網魚礁に通電して海水成分を金網表面に沈着させることにより海藻の着生、稚魚の蝟集を図るもの）、②給餌浮魚礁（浮魚礁の集魚機能と断続した人工餌料の散布によりマダイ稚魚等を集めるとともに、音響による学習効果を図るもの）、及び③海中緑化システム（太陽追尾式反射鏡で光を集め、光拡散レンズを通して海底に光を照射することにより海藻の生長を促進するもの）が設置された²⁸。1988~1989年にこれらの効果調査が行われ、本調査で初めて自航式水中テレビロボ（ROV）が導入された²⁸。調査の結果^{28,29}、①電着育成礁については、通電によりサンゴ藻やフジツボ等の着生が抑制され、カジメの幼芽の生長は順調であったが、さらに経過観察が必要とされた。②海中緑化システムについては、クロメの生長が15~20%促進されたと推定されたが、光量と生長との基礎的関係の解明が必要と考えられた。③給餌浮魚礁については、イシダイに対しては音響給餌効果が確認されたが、マダイに対する効果は明確では無かった。以上の結果及び費用対効果の面から、これらの新技術は他県で実用化された給餌浮魚礁を除き、実用化には至らなかった²¹。

「マリンテクノひびき灘構想」は1988~1993年度を計画期間として事業が実施され、引き続き阿武・萩海域も指定を受け、「マリンテクノ阿武・萩構想」の下に1989~1993年度を計画期間として事業が実施された²¹。しかし、マリノベーション構想は既存の予算枠内で構想

地域における各種事業が優先採択されるにすぎなかったことから、画期的とはいえない内容で²¹⁾、長門海域総合開発のようなまとまった効果調査は実施されなかった。

広域型増殖場

1988~1994年度には第3次沿岸漁場整備開発事業の柱の1つとしてマダイを対象とする広域型増殖場造成事業が豊閑地区(1990~1994年度)及び萩湾地区(1991~1993年度)で実施された²¹⁾。さらに1994~1999年度には漁家経営の安定・向上に寄与する中・高級魚介類の増殖を主眼の1つとする第4次沿岸漁場整備開発事業が実施され、広域型増殖場造成事業として阿武萩地区のヤリイカ、豊閑地区と阿武萩地区のヒラメを対象とした漁場整備が行われた²¹⁾。

増殖場造成事業は、マダイ及びヒラメについては餌料環境の整備、ヤリイカについては産卵場の整備を通じて、対象種の増産を目指すものである。このため、効果調査は対象種の幼魚や餌料の分布のほか、ヤリイカについては産卵状況を確認することが必要とされ、最終的には対象地域の対象種の漁獲量がどれだけ増加したかを調べることが必要とされるが、山口県水産研究センターによる効果調査の報告は見当たらなかった。

さまざまな試験礁

1988年9月に山口県内の産学官で共同開発した鋼製魚礁オーシャンクロスの400型(400空 m^3)及び800型(800空 m^3)各1基、1989年1月に3600型(3,600空 m^3)1基が蓋井島沖に沈設された³⁰⁾。1988~1989年度に魚群探知機調査、潜水・ROV調査、及び一本釣試験操業が行われた結果^{30,31)}、視認魚種は400型で26種、800型で28種、3600型で6種であった。また、単位努力量当たり漁獲量は調査回数を重ねるに従い増加した。さらに、魚群探知機調査の映像では浮魚、瀬付魚とも魚礁上かその周辺に多く、浮魚は大型の魚礁ほど反応が大きいことなどから、蝟集効果があると認められた。この調査により蝟集効果が認められたことから、その後事業でオーシャンクロスが用いられるようになった。

1989年10月には湾央の渦流域に多く滞留する幼稚仔の保護育成を図るため、流動制御構造物(ロックリーフ12型)が蓋井島湾内に沈設され、翌1990年7月に角型ブロック2基、さらに1991年7月には石材礁72 m^3 が追加設置された³²⁻³⁴⁾。1989~1992年度に実施された山口県と日本大学共同による効果調査の結果³⁴⁾、各調査時ともマアジ、ネブツダイ、及びスズメダイが優占的に蝟集し、漁獲対象魚であるメバルやブリも確認された。また、対照地点に比較して試験礁内でサザエの生息密度が高く、有用貝類に対する蝟集効果が高いと推察されたものの、

藻食動物による海藻類の食害があり、植物相は貧相で、放流したエブアワビは成長が悪く痩せていた。このような難点があったため、本県では事業化されなかった。

1994年度にはマグロ等の大型回遊魚の有効利用を図るため見島北方八里ヶ瀬周辺に簡易浮魚礁(パヤオ)が設置された³⁵⁾。パヤオは垂直型3基が6月に、水平型(東レAV-II型)1基が7月に設置された。檜山・吉崎³⁵⁾による効果調査の結果、6月から10月のROVと毛針釣調査でシイラ、カンパチ、ツムブリ等が確認された。また、曳縄釣ではシイラ、クロマグロ、カツオ、スマ、ビンナガが漁獲された。しかし、設置2カ月後までに3基のパヤオが相次いで消失し、残りの1基も4カ月後には消失した。消失原因については、この間大きな時化もなく、アンカー部分には海底とのすれを防止するためチェーンも取り付けられていたので、自然流出とは考え難いとされている³⁵⁾。なお、翌1995年5月にも垂直型2基が八里ヶ瀬周辺に設置されたが、このパヤオも数カ月内に消失したため、その後パヤオの設置は中止された。

間伐材魚礁及びハイブリッド型間伐材魚礁

1996~1998年に阿武町宇田郷沖(水深70m)に井桁型間伐材魚礁(1辺1.5m、合計207基)が沈設され、1996年から2002年にかけて水中テレビまたはROVによる魚礁の観察及び一本釣による漁獲試験が実施された³⁶⁾。水中観察の結果、ウマヅラハギ、カサゴなど6種が確認されただけであったのに対し、一本釣ではそれ以外に29種が漁獲された³⁶⁾。このように調査手法によって確認される魚種及び個体数がかかなり異なった。また、沈設後6年3カ月で魚礁の上半分が崩壊したものや木材の破片が横たわっているだけのものが見られたことから、本海域の木材の耐用年数は5~6年と推定された³⁶⁾。2002年に付近のコンクリート魚礁(2m角型魚礁153基、1995年10月沈設)と間伐材魚礁の1人1時間100空 m^3 当たりの釣獲量が比較された結果、両者に差は無かった³⁶⁾。

野波瀬地先(水深25m)では1999~2002年に井桁型間伐材魚礁70基が沈設された³⁷⁾。付近の釣りデッキでは、2000年及び2001年にマダイ、ウマヅラハギ、マアジなど29種の魚類と2種の頭足類が釣獲された³⁷⁾。また、潜水調査により木材の腐食状況が調査された結果、沈設から3年1ヵ月経過した魚礁では鉄筋が露出するほど腐食が進んでいたことから、沈設後4年目には魚礁の上部から崩壊が進んでいくものと推察された³⁷⁾。

豊浦町小串地先(水深23m)では2000年に井桁型間伐材魚礁31基が沈設され、2001~2003年に潜水による魚礁の腐蝕状況調査と一本釣による付近のコンクリート魚礁(251空 m^3 、2000年11月設置)との釣獲量の比較調査が実施された³⁸⁾。潜水調査の結果、間伐材魚礁は沈

設後3年1ヵ月で腐食が激しかったことから、耐用年数は3年程度と考えられた³⁸⁾。また、間伐材魚礁における1人1時間100空m³当たりの釣獲量は、コンクリート魚礁に劣らないとみなされた³⁸⁾。

以上のとおり、間伐材魚礁の耐用年数は3~6年で水深が浅いほど短いことが明らかになった。また、耐用年数を考慮しなければ、間伐材魚礁の蝟集効果はコンクリート魚礁に劣らないと考えられた。

間伐材魚礁には耐用年数が短いという弱点があるため、それを補うために2001年から2003年にハイブリッド型間伐材魚礁が開発され、2004年から順次沈設された^{39,40)}。

2004年1月には下関市吉母地先(水深20m)にハイブリッド型鋼製間伐材魚礁(15×15×12m)2基と効果比較のために間伐材を装着しない同型対照魚礁2基が沈設された。同年8月には萩市見島西沖(水深90m)にもハイブリッド型鋼製間伐材魚礁(15×15×19m)と同型対照魚礁がそれぞれ3基ずつ沈設された。さらに2005年1月にはハイブリッド型コンクリート製間伐材魚礁(3.25×3.25×4.64m)と同型対照魚礁が48基ずつ下関市蓋井島地先(水深45m)に沈設された。2004~2008年の効果調査の結果^{39,40)}、これらのハイブリッド型間伐材魚礁、対照魚礁とも、設置後1~2ヵ月程度までは魚類の蝟集は少なかったが、設置後4~5ヵ月目頃から蝟集が増え、ハイブリッド型間伐材魚礁の蝟集量が対照魚礁に比べ多くなる傾向が認められた。また、付着生物の湿重量はハイブリッド型魚礁の木部が常に他の部位を上回り、付着生物のうち魚類餌料生物の2年間の平均現存量は対照魚礁では1001.0g/m²であったのに対し、木材部では5696.1g/m²と大きな差が見られた。これらの結果から間伐材を装着すると餌料生物の供給がより多くなり、早く魚類蝟集効果が発現するようになると思われる³⁹⁾。

高層魚礁

1999年5月に阿武町奈古沖に礁高30mの高層魚礁が沈設された⁴¹⁾。吉岡ら⁴¹⁾及び渡邊ら⁴²⁾は2000~2001年度に魚礁の高さによる蝟集効果の違いを明らかにすることを目的として、この高層魚礁と1992年度に付近に設置された礁高9mの大型魚礁における魚類蝟集状況を魚群探知機を用いて調査した。魚群探知機調査の結果、魚礁面積に対する平均魚群反応面積の比は、2000年度には高層魚礁で0.76、大型魚礁で0.42、2001年度には高層魚礁で0.25、大型魚礁で0.17と、両年度とも高層魚礁の値が大型魚礁の値の1.5~1.8倍と高いことを報告した^{41,42)}。

見島南西沖では2005年11月に沈設された高層鋼製魚礁ユニタワーUT304(高さ30m, 2539空m³)、KK21C(高さ21m, 2,015空m³)及び2006年11月に沈設さ

れたオーシャンクロス1700HA(高さ21m, 1701空m³)について、2007年から2015年の夏にROVにより魚類の蝟集状況が調査された⁴³⁾。ROV調査の結果⁴³⁾、魚類蝟集量は3魚礁とも2007年には3,000kg前後と高水準にあったが、2009年以降は700kg以下に大きく減少した。魚種別にみると、特にメダイの減少に伴って蝟集量が減少していた。これらの魚礁で確認された魚類は23種にのぼったが、各魚礁ともメダイを含む上位3魚種で総重量の90%以上が占められた。2015年にはこれらの魚礁への魚類蝟集量の季節変動がROVで調べられた結果、メダイの蝟集はまったくなく、卓越するイサキの蝟集量の多寡に影響されて蝟集量の季節変動が起きていた⁴⁴⁾。これらの調査では、群れを成して移動する魚群の蝟集量の推定に難点があるものの、同一魚礁を対象とした効果調査としては最長の9年間実施され、卓越種の交替やその量変動の影響を受けて、蝟集量が季節的にだけでなく経年的に大きく変動しうることを示した点において重要である。

藻礁

漁港漁場整備事業と沿岸漁場整備開発事業を再編・統合する形で創設された水産基盤整備事業の1つである水産環境整備事業により、2012~2014年度に藻礁(クロメ母藻が設置された核藻場礁とその周辺に石材礁を配置)が阿武萩地先10地点に整備された。内田ら⁴⁵⁾は2016年10~11月に潜水による水中撮影と被度調査(ベルトトランセクト法)を実施し、核藻場礁の表面にはクロメ幼体が多数着生していたこと、及び石材礁については離島側(大島、見島、相島)では濃密なクロメ群落(平均被度36.7%)が確認されたのに対し、本土側(江崎、須佐、奈古、小畑、玉江浦、三見)では主にホンダワラ類がスポット的に着生していたにすぎなかった(平均被度24.8%)ことを明らかにした。そして、離島側で濃密な群落が形成された原因について、石材礁に隣接するクロメ天然藻場からも遊走子が供給されたためと推測している。今後はその検証のため、藻礁のクロメ現存量と周辺のクロメ天然藻場のそれとの定量的な関係を追究し、より効果的な藻礁の設置方法を見出すことが望まれる。

漁場整備の効果の総括

これまで示してきた漁場整備の効果は、一時的な蝟集効果(魚類の蝟集の他、藻類や貝類の生育を含む)と年間を通した生産効果の2つに大きく分けられる。

このうち蝟集効果は、潜水やROV調査、魚群探知機調査、漁獲試験などのスナップショット的な現存量調査により把握でき、生産効果よりも容易に把握できるため、既往調査報告の多くがこれを解明したものである。

蛸集効果を解明したこれらの調査報告にはいくつか問題点がある。それを列挙すると、①調査手法によって確認される魚種や個体数が異なること、②群れを成して移動する魚類の蛸集量の推定が難しいこと、③蛸集量の多寡は対照漁場との比較、または同一漁場での時系列比較を行なわないとわからないこと、④蛸集量は季節的・経年的にかなり変動するにもかかわらず、必ずしも継続的な調査が行われていないことが挙げられる。

このような問題点があるため、今後蛸集効果調査を行う際には、これらの問題を少しでも解決するよう可能な限り対照漁場を設定し、同一手法を用いて定量的で継続的な調査を行うことが必要であり、さらに調査結果は後で参照できるよう報告書として残すことが大切である。

既往の調査報告の中には、数回のスナップショット的な現存量調査に基づき、魚類等の蛸集が見られたことから、安易に効果があると判断されているものが見受けられたが、事業として多額の税金が投入されている以上、最終的には生産効果まで求める努力をすべきであろう。

生産効果は標本船調査、アンケート調査、聞き取り調査、漁獲統計調査等をいくつか組み合わせて推定される、造成漁場における年間の漁業生産量及び生産金額のことである。本海域では生産効果を推定した事例はきわめて少ないが、1960年代に阿川地先と和久地先で行われたウニを対象とした造成漁場の増産効果調査⁵⁾と1984~1985年に長門海域で行われた生産効果調査²⁸⁾がその代表的な事例である。このうち前者は半世紀前に行われた調査ではあるが、費用対効果の観点から施設の償却年数(施設整備費が回収できる年数)まで検討されており、手本となるものである。

漁場整備の生産効果は、水産資源が海域環境の変動に大きく影響されて量変動するとなどの自然的要因のほか、漁業者の高齢化や減少などの社会経済的要因によっても変動するので、1年間だけの調査ではその変動を把握することはできない。その観点からすれば、上述の2つの生産効果調査でさえも必ずしも十分なものではない。とはいえ、生産効果調査を継続的に長年実施するためには、上述の手法だけでは多大な労力と時間を要するので、今後は漁獲統計システム、ICT技術、衛星データ等を駆使して、効率的かつ簡便に生産効果を把握するシステムを構築することが望まれる。

文 献

- 1) 高木伸雄(1984):沿岸漁場整備事業. 水産土木, **20**(2), 97-105.
- 2) 中村達夫・井上 泰(1965):山口県のウニと築磯事業の効果について. 山口県外海水産試験場研究報告, **6**(2), 1-70.
- 3) 芳永春男(1958):外海浅海開発増殖事業適地選定調査及び効果判定調査. 昭和32年度山口県外海水産試験場事業報告, 99-111.
- 4) 芳永春男(1960):外海浅海開発増殖事業適地選定調査及び効果判定調査. 昭和34年度山口県外海水産試験場事業報告, 85-93.
- 5) 中村達夫・井上 泰・寺尾百合正・重宗新治・佐竹竹元(1968):ウニ類を対象とした投石事業の効果. 山口県外海水産試験場, 1-27.
- 6) 中村達夫・井上 泰・角田信孝・西村忠恭・重宗新治・寺尾百合正(1968):異型ブロックによるウニ類の蛸集効果. 昭和43年度漁場改良事業効果確認調査報告書, 1-10.
- 7) 藤井修生・寺尾百合正・角田信孝・水津洋志(1971):異型ブロックによる有用生物蛸集効果. 投石事業効果認定報告書, 山口県外海水産試験場, 1-17.
- 8) 寺尾百合正・角田信孝・水津洋志・松浦秀喜(1972):異型ブロックによる有用生物蛸集効果について. 昭和46年度投石事業効果認定報告書, 山口県外海水産試験場, 1-9.
- 9) 高山繁昭・川崎こずえ・由良野範義(1991):増殖場造成事業効果調査. 平成2年度山口県外海水産試験場事業報告, 175-177.
- 10) 高山繁昭・川崎こずえ・由良野範義(1992):増殖場造成事業効果調査(アワビ). 平成3年度山口県外海水産試験場事業報告, 156-178.
- 11) 藤井泰司(1963):江崎地先における魚礁の生産効果について. 昭和37年度山口県外海水産試験場事業報告, 161-166.
- 12) 藤井泰司(1965):沿岸釣・延縄漁業と漁場改良造成事業について. 山口県外海水産試験場研究報告, **6**(1), 1-84.
- 13) 藤井泰司・松岡弘隆・桑原哲太郎・高重睦義(1961):昭和34年度魚礁に関する調査. 山口県外海水産試験場, 1-20.
- 14) 山根隆幹(1979):人工礁漁場造成事業について. 水産土木, **15**(2), 1-4.
- 15) 中谷武治・林 泰行・中原民男(1984):人工礁漁場調査. 昭和58年度山口県外海水産試験場事業報告, 112-114.
- 16) 岩政陽夫・中谷武治(1985):人工礁漁場調査. 昭和59年度山口県外海水産試験場事業報告, 118-121.
- 17) 岩政陽夫・中谷武治(1985):人工礁漁場調査. 昭和60年度山口県外海水産試験場事業報告, 126-128.
- 18) 木村 博(1989):人工礁漁場造成事業効果調査. 昭和63年度山口県外海水産試験場事業報告, 183-186.

- 19) 山本健也・河野光久・小林知吉 (2004) : 人工魚礁等生産量実証調査事業 (魚礁原単位調査). 平成 15 年度山口県外海水産試験場事業報告, 25-27.
- 20) 山本健也・河野光久・小林知吉 (2006) : 人工魚礁等生産量実証調査事業 魚礁原単位の検証. 平成 17 年度山口県外海水産試験場事業報告, 27-30.
- 21) 有菌真琴 (2002) : 山口県漁業の歴史. 社団法人日本水産資源保護協会, 268pp+付属資料 118pp.
- 22) 山口県 (1986) : 昭和 59 年・60 年度組織的研究活動推進事業報告書 調査対象地区:長門海域, 1-65.
- 23) 檜山節久・濱野 明 (1996) : 人工魚礁漁場造成事業効果調査 (人工魚礁に蝟集する魚類の定量化のための最適調査手法の開発). 平成 7 年度山口県外海水産試験場事業報告, 66-68.
- 24) 檜山節久・高木和昭・濱野 明 (1997) : 人工魚礁漁場造成事業効果調査. 平成 8 年度山口県外海水産試験場事業報告, 61-66.
- 25) 檜山節久・渡辺俊輝・高木和昭・濱野 明・内田和良 (1998) : 人工魚礁漁場造成事業効果調査 (人工知能技術を応用した総合魚礁効果判定技術の開発). 平成 7 年度山口県外海水産試験場事業報告, 156-158.
- 26) 由良野範義・角田信孝・藤井修生 (1992) : 長門海域総合開発事業 (磯根漁場造成) 効果調査. 平成 3 年度山口県外海水産試験場事業報告, 179-180.
- 27) 角田信孝・水津洋志 (1994) : 長門海域総合開発事業効果調査 (磯根漁場, 増殖場造成). 平成 5 年度山口県外海水産試験場事業報告, 185-204.
- 28) 木村 博・中原民男・立石 健 (1989) : 外洋性ナーサリー一造成に係る新技術 (電着育成礁, 海中緑化システム, 給餌浮魚礁) 開発試験. 昭和 63 年度山口県外海水産試験場事業報告, 187-192.
- 29) 小林知吉・中原民男・立石 健 (1990) : 外洋性ナーサリー一造成に係る新技術 (電着育成礁, 海中緑化システム, 給餌浮魚礁) 開発試験. 平成元年度山口県外海水産試験場事業報告, 184-186.
- 30) 松森 茂・中原民男・立石 健・木村 博・村田 実 (1989) : 大型鋼製魚礁研究開発事業. 昭和 63 年度山口県外海水産試験場事業報告, 193-200.
- 31) 中原民男・立石 健・小林知吉 (1990) : 大型鋼製魚礁海中調査. 平成元年度山口県外海水産試験場事業報告, 187-196.
- 32) 中原民男・角田信孝・小林知吉・由良野範義・立石 健 (1990) : 湾央等渦流域における幼稚仔保護礁実証実験事業. 平成元年度山口県外海水産試験場事業報告, 199-206.
- 33) 角田信孝・小林知吉・由良野範義 (1991) : 湾央等渦流域における幼稚仔保護礁実証実験事業. 平成 2 年度山口県外海水産試験場事業報告, 183-194.
- 34) 角田信孝・小林知吉・由良野範義 (1992) : 湾央等渦流域における幼稚仔保護礁実証実験事業. 平成 3 年度山口県外海水産試験場事業報告, 181-191.
- 35) 檜山節久・吉崎 巽 (1995) : 大型回遊魚新漁業技術開発事業. 平成 6 年度山口県外海水産試験場事業報告, 45-51.
- 36) 河野光久・渡辺俊輝・吉岡貞範・繁永裕司 (2004) : 山口県日本海沿岸域に沈設された間伐材魚礁の効果に関する研究—I 宇田郷沖に沈設された間伐材魚礁の効果及び耐用年数. 山口県水産研究センター研究報告, (2), 133-138.
- 37) 河野光久・渡辺俊輝 (2004) : 山口県日本海沿岸域に沈設された間伐材魚礁の効果に関する研究-II 野波瀬地先に沈設された間伐材魚礁の魚類蝟集効果及び耐用年数. 山口県水産研究センター研究報告, (2), 139-143.
- 38) 河野光久・渡辺俊輝・山本健也 (2004) : 山口県日本海沿岸域に沈設された間伐材魚礁の効果に関する研究-III 小串沖に沈設された間伐材魚礁の魚類蝟集効果及び耐用年数. 山口県水産研究センター研究報告, (2), 145-150.
- 39) 山口県間伐材魚礁利用促進協議会・山口県 (2006) : 山口県間伐材魚礁調査報告書. 1-48.
- 40) 石田祐司・渡邊俊輝 (2009) : 間伐材魚礁調査事業. 平成 20 年度山口県水産研究センター事業報告, 45-51.
- 41) 吉岡貞範・渡辺俊輝・小林知吉 (2002) : 汎用型高層魚礁効果調査. 平成 12 年度山口県水産研究センター事業報告, 20-21.
- 42) 渡邊俊輝・小林知吉 (2003) : 汎用型高層魚礁効果調査. 平成 13 年度山口県水産研究センター事業報告, 18-22.
- 43) 河野光久・繁永裕司・石田祐司 (2016) : 日本海南西見島西沖に沈設された高層魚礁の魚類蝟集効果—I 夏季の魚類蝟集量の経年変動. 山口県水産研究センター研究報告, (13), 15-19.
- 44) 河野光久 (2016) : 日本海南西見島西沖に沈設された高層魚礁の魚類蝟集効果-II 2015 年の魚類蝟集量の季節変動. 山口県水産研究センター研究報告, (13), 21-24.
- 45) 内田 明・白木信彦・南部智秀・齋藤義之・松尾圭司・宇佐波忠孝・湯之上大輔・宮内 聡・枝廣直樹・岡本 悟・山崎大海 (2016) : 阿武萩地区モニタリング調査事業 (藻場). 平成 28 年度山口県水産研究センター事業報告, 21.

付表 山口県日本海沿岸域で実施された漁場整備の主要な効果調査

調査年	効果調査の対象魚礁（海域）	文献番号
1953-1957	テングサを対象とした投石（六連島地先）	3
1957	テングサ、ワカメを対象とした投石（三見地先）	3
1957-1962	並型魚礁（江崎地先）	11
1959	イワノリを対象としたコンクリート面造成（黒井地先）	4
1960	並型魚礁（安岡地先）	12
1960	大型魚礁（豊北町地先）	13
1962-1964	並型魚礁、大型魚礁（豊北町～豊浦町地先）	12
1962-1964	並型魚礁、大型魚礁（須佐・江崎地先）	12
1962-1964	ウニを対象とした投石（阿川地先）	5
1963	ウニ類、有用貝類を対象とした異型コンクリートブロック、タイヤブロック（和久地先）	6
1966	ウニを対象とした投石（和久地先）	5
1971-1974	バフンウニを対象とした平板体コンクリートブロック、H型ブロック（和久地先）	7, 8
1984-1985	長門海域総合開発漁場（長門海域）	22
1986-1987	阿武地区人工魚礁、大型魚礁、並型魚礁（阿武萩沖）	18
1988-1989	電着育成礁、給餌浮魚礁、海中緑化システム（川棚地先）	28, 29
1988-1989	鋼製魚礁オーシャンクロス（蓋井島沖）	30, 31
1989-1991	アワビを対象とした投石、石詰礁（宇田郷地先）	9, 10
1989-1992	流動制御構造物（蓋井島湾）	32-34
1991	長門海域磯根漁場（黄波戸、立石、阿川地先）	26
1993	長門海域磯根漁場（野波瀬地先）	27
1994	簡易浮魚礁（八里ヶ瀬周辺）	37
1995-1997	長門海域海域礁（長門海域）	23-25
1996-2002	井桁型間伐材魚礁（宇田郷沖）	36
2000-2001	高層魚礁（奈古沖）	41, 42
2000-2003	井桁型間伐材魚礁（野波瀬地先）	37
2001-2003	井桁型間伐材魚礁（小串地先）	38
2004-2005	長門海域西部海域礁（長門海域）	19, 20
2004-2005	油谷地区人工礁（油谷沖）	19, 20
2004-2008	ハイブリッド型間伐材魚礁（吉母、見島、蓋井島地先）	39, 40
2007-2015	高層鋼製魚礁（見島西沖）	43, 44
2016	藻礁（阿武萩地先）	45

西部山陰沿岸における水温の変動特性に関する研究

渡邊 俊輝

第1章 序論	36
1-1. 研究の背景	36
1-2. 西部山陰沿岸の漁業と海洋学的特徴	36
1-3. 西部山陰沿岸域の水温変動に関する先行研究	37
第2章 西部山陰沿岸水温の短期変動	39
2-1. 定置網漁場水温にみられる数日周期変動	39
2-1-1. 序論	39
2-1-2. 観測と解析資料	39
2-1-3. 水温の数日周期変動	39
2-1-4. 数日周期変動の時空間特性	40
2-1-5. 考察	41
2-2. 萩-見島旅客船の水温データにみられる沖合での水温変動	42
2-2-1. 序論	42
2-2-2. 観測とデータ	42
2-2-3. 沖合水温変動の特徴	42
2-2-4. 考察	43
2-3. まとめと考察	44
第3章 西部山陰沿岸水温の長期変動	70
3-1. 序論・背景	70
3-2. 萩-見島旅客船データにみられる長期変動	70
3-3. 定線観測データにみられる長期変動	71
3-4. 考察	72
第4章 総合考察	81
第5章 結論	83

要旨	83
謝辞	84
参考文献	85

平成27年 九州大学総合理工学府学位提出論文 (http://catalog.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/1544018/tj0958.pdf で公開) : 掲載に際し投稿規定に従って一部修正を行った。

第1章 序論

1-1. 研究の背景

山口県沖合を中心とする日本海南西海域、特に萩から見島にかけての海域は、山口県の沿岸漁業にとって重要なマアジ、マサバ、カタクチイワシ、ウルメイワシなどの浮魚類や、ケンサキイカの好漁場となっている。これらの浮魚類やいか類は、漁獲量変動の大きいことに加えて、資源状態が良好でも必ずしも高漁獲になるとは限らない特徴がある。したがって、沿岸域においてこれらの魚種の漁況予報を行うには、資源状態の把握に加えて、漁場形成要因の解明が鍵になる。

現在、山口県水産研究センターでは、各魚種の漁況予報を年に2回程度行っているが、近年(2012~2014年)、マアジやマサバを漁獲対象とする中型まき網漁業や、ケンサキイカを対象とする一本釣り漁業の漁獲がすこぶる低調であったことから、漁業者の効率的な操業に寄与することを目的に、沿岸域での短期(旬ごと)の漁況予報の実施を目指し、各種調査や資料解析に取り組んでいる(漁場形成予測技術開発事業)。実際、Ogawa(1979)によると、日本海南西部の沿岸漁場には数日の時間スケールの海況変動が存在し、カタクチイワシの魚群も同じ時間スケールで変動していることが指摘されている。すなわち山口県沿岸域では、水温変動と関連した数日周期の魚群補給が示唆されており、漁業の現場からも、より短期的(数日~数週間程度)な漁況予報や盛漁期前の予報が要望されている。それにもかかわらず、数日程度の時間スケールの海況変動については、その原因はおろか、現象の時間的・空間的な特徴すら把握できていないのが現状である。

一方、近年では、地球温暖化問題が取りざたされる中で魚類の棲息場としての海洋環境に関心が高まっており、水産試験研究機関に対して漁業者や行政、マスコミから長期的な海況変動についてコメントを求められることが多くなってきた。山口県沿岸海域では2000年代に入ってから熱帯・亜熱帯域に生息する南方系の魚類が多く見受けられるようになっており(河野ら, 2011)、長期的な水温変動やレジームシフトとの関連が示唆されている(小林ら, 2006)。このような温暖化やレジームシフトにとも

なう魚種の変遷は、今後の漁業の見通しや長期的な漁業施策を考える上で重要な問題と考えられるが、西部山陰沿岸域における水温の長期変動の実態については不明な点が多い。

以上のような背景のもと、本研究では、山口県を中心とした西部山陰沿岸域における数日から数週間程度の海況変動の時空間的な特徴を明らかにし、その物理的なメカニズムについて検討する。さらに、これら短期変動のバックグラウンドに存在する水温場の長期的な変動を示すとともに、地球温暖化や太平洋規模での水温変動との関連について考察する。

1-2. 西部山陰沿岸の漁業と海洋学的特徴

本研究で対象とする西部山陰沿岸とは、Fig. 1-1に示す対馬海峡から島根県中央部にかけての日本海南西部海域である。この海域の水温変動を議論するに先立ち、研究対象海域の海洋学的な特徴と漁業の概略を述べる。

西部山陰沖合には200 m以浅の領域が朝鮮半島まで広がっており、我が国最大級の大陸棚海域を形成している。一方、沿岸部には変化に富んだ岩礁帯や島嶼群が点在し、随所に好漁場が形成されている。特に山口県の沖合には見島に連なる浅瀬が存在し、100 m等深線が35° N付近にまで張り出している。これに対して島根県沿岸では、100 m等深線が陸岸近くに分布しており、山口県沿岸と比べて急深な海底地形となっている。

対馬海流沿岸分枝は、山口県沖合では100 m等深線に沿って見島の北側を流れるとされ、その流路は地形性β効果と関連した安定したものと考えられている(Katoh, 1994)。一方、広瀬ら(2009)は、データ同化モデルの計算結果を統計的に解析した結果から、対馬海峡東水道からの流れが見島で北と南に分岐し、沖合分枝と沿岸分枝が形成されるという新しい海流像を提案している。このように、西部山陰沖海域における対馬海流の流路にはいくつかの説があり、いまだに議論が続いている状況にある。

しかし対馬海流の日本海への入り口である対馬海峡については、近年の時空間的に高密度な観測により、海峡通過流の構造や変動特性が明らかになってきている。例

例えば Takikawa *et al.* (2005) および Fukudome *et al.* (2010) は、対馬海峡を横断する定期旅客船を活用した ADCP 観測の資料を解析し、海峡部における強流域の位置を明らかにするとともに西水道と東水道の流量変化が大きく異なることや、通過流量は夏季～秋季に極大、冬季に極小となる等の特徴を明らかにしている。また海峡部に設置した海洋短波レーダー (HF レーダー) の資料からは、対馬海峡東水道に現れる反時計回りの渦の構造や発生周期が明らかにされており (Yoshikawa *et al.*, 2007; 中園ら, 2008), さらにこのような渦とクロロフィルの高濃度域との関連が報告されている (鬼塚ら, 2011)。

以上のように研究対象海域は、①高い漁業生産性を持つ大陸棚が広大であること、②島嶼が多く複雑な海岸地形を有すること、③餌料の豊富な水域を形成する渦が存在することなど、漁場形成に正の作用を及ぼす要因が存在し、漁場としてのポテンシャルは非常に高いと考えられる。事実、平成 20 年漁業・養殖業生産統計年報 (農林水産省大臣官房統計部, 2010) によると、日本の漁獲可能量 (TAC: Total Allowance Catch) 制度の対象魚であるマアジの福岡・山口・島根 3 県での漁獲量は 39,064 t で、全国の漁獲量の約 27% をも占めている (Fig. 1-2)。また、アマダイ 483 t (35%), マダイ 3,165 t (20%), ふぐ類 1,462 t (18%), ぶり類 13,087 t (17%), ウルメイワシ 6,282 t (13%) など、全国漁獲量の 10% 以上を占める魚種も多い。しかも、それらの魚種は、浮魚から底魚までバラエティに富んでおり、当海域の漁業生産性の高さがうかがわれる。

1-3. 西部山陰沿岸域の水温変動に関する先行研究

本節では、本研究に関連する西部山陰沿岸域の水温変動に関する研究をレビューする。

西部山陰沿岸における数日～数週間スケールの漁海況変動を取り扱った研究としては、Ogawa (1979) があげられる。Ogawa (1979) は萩沖で行った船舶観測資料に基づき、表層水温の前日差が 0.5 °C 以上の場合、水平移流によって水温変化が生じたと考え、その頻度を調査した。その結果、水平移流による水温変化のモードは 3 日にあり、平均では約 5 日の時間間隔で生起することを明らかにした。また同時に沿岸漁場へのカタクチイワシの補給間隔も調べ、水温変化と同じ時間スケールで魚群が補給されていることを明らかにした。しかし、彼の研究は数週間程度の観測に基づくものであり、さらになぜこのような時間スケールの変動が生じるのかについては言及していない。

これに対して、対馬海峡域においては、海峡横断フェリーによる観測結果 (Tawara and Fujiwara, 1985; Mori

et al., 2009), あるいは数点での係留式水温・塩分計データに基づく研究 (Manda *et al.*, 2000) から、昇温期には十数日程度の周期で高温・低塩分水塊が対馬海峡を通過して日本海に流入していることが明らかにされている。また千手ら (2011) は、前線波動の通過にともなう冬季の 3～7 日程度の周期変動を報告している。しかしながら、九州北部から西部山陰沿岸にかけての広い領域にわたる水温変動を扱った研究はみられない。

一方、長期的な海況変化を取り扱った報告は、地球温暖化問題を背景に近年多く見受けられるようになった。気象庁は海洋に関する情報を「海洋の健康診断表」として公表しており、とりわけ海水温や海流、潮位などが長期的にどのように変化しているかを「海洋の健康診断表 総合診断表 第 2 版」(2013) としてとりまとめている。それによると、本研究の対象海域である対馬海峡～山口県沖合を含む領域 (東シナ海北部) の海面水温は、100 年間で 1.22 °C 上昇、島根県沖の西部山陰を含む領域 (日本海南部) は 1.26 °C の上昇とされ、いずれも日本近海では上昇率の大きい海域になっている。水産試験研究機関においても、収集した海洋観測資料をもとに、海況、特に水温の長期変化を報告している。加藤ら (2006) は、日本海では 1988/89 年と 1997/98 年に顕著な水温上昇が起こったことを報告するとともに、冬季・春季の対馬海峡東水道での水温変化は日本海西部のそれと類似しているが、夏季・秋季については異なることを報告している。また、神崎・金丸 (2007) は 50 年間にわたる壱岐および対馬海峡東水道の水温変動を調べ、冬季 (2 月) の方が夏季 (8 月) よりも上昇傾向が強いことを報告している。さらに佐賀県は玄海沿岸域において、地球温暖化による水温上昇とそれに伴う漁業の将来予測にまで言及している (梅田ら, 2012)。しかしながら、西部山陰では海況の長期変化を扱った研究は少なく、山口県萩市と見島を往復する旅客船による表層水温観測の資料を解析した Senjyu and Watanabe (2004) が、北太平洋にみられる十年スケールの変動が西部山陰でも確認されたことを示した報告のほかには見当たらない。

本論文では、第 2 章において、九州北部から島根県西部の定置網に取付けたメモリー式水温計による観測資料と旅客船による沖合の水温観測資料の解析を通して、西部山陰沿岸における水温の短期変動特性を明らかにする。続く第 3 章では、数日～数週間スケールの変動の背景にある水温の長期的な変化について考察する。さらに第 4 章で総合考察を行い、最後に第 5 章で総括を行う。

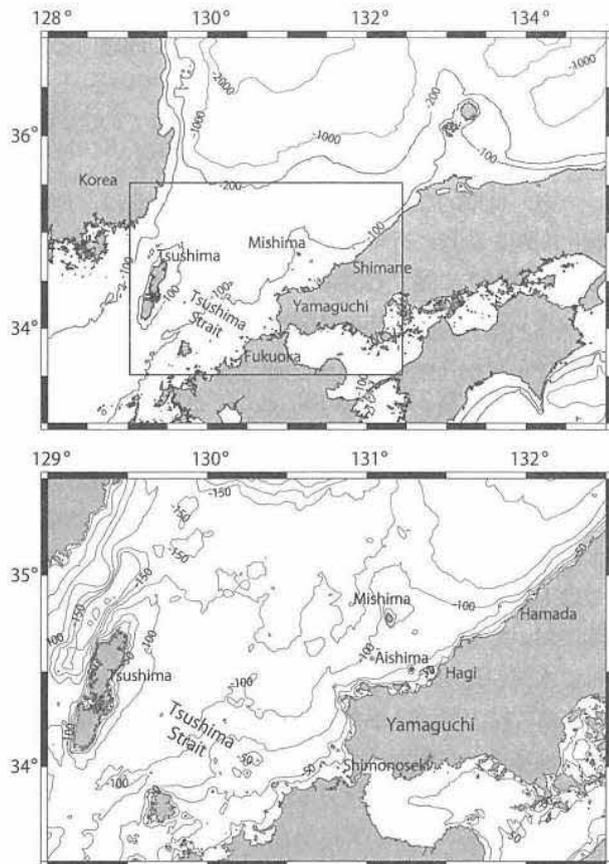


Fig. 1-1 Study area. The upper panel shows locations of Tsushima strait and southwestern Japan sea. To emphasize the Tsushima strait, Yamaguchi Prefecture and western Shimane Prefecture, the square in the upper panel is enlarged in the lower panel. Numerals on bottom contours show depth in meter.

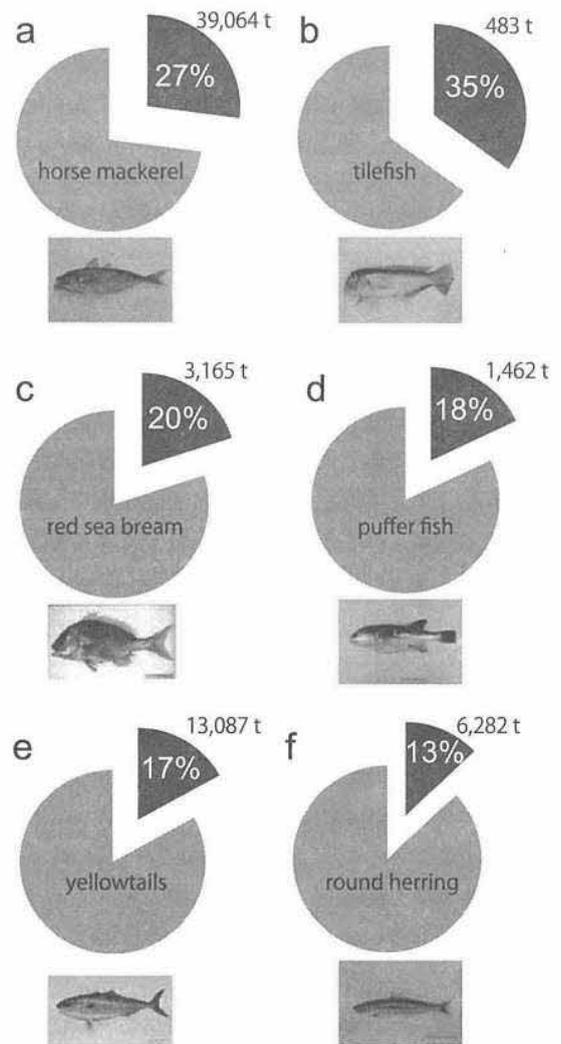


Fig. 1-2 Percentage of catch of three prefectures (Fukuoka, Yamaguchi, and Shimane prefecture) to the national catch. The segment in dark gray shows three prefectures catch. a: horse mackerel, b: tilefish, c: red sea bream, d: puffer fish, e: yellowtails, and f: round herring. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, the minister's secretariat statistics part (2010).

第2章 西部山陰沿岸水温の短期変動

2-1. 定置網漁場水温にみられる数日周期変動

2-1-1. 序論

数日～数週間スケールの現象を把握するためには、最低でも1日1回の頻度で、数ヶ月間にわたる観測を行う必要があるが、このような観測を船舶で実施することは困難である。そこで、観測機器を海中に係留する方法が考えられるが、活発な漁業活動のため、観測機器に係留するためのプラットフォームを当該海域に新たに設置することは難しいという事情がある。漁海況予報を精度よく、かつ迅速に提供するためには、数日～数週間スケールの海況変動の理解が重要であるにもかかわらず、上述のような観測の困難さのため、この時間スケールの現象については未だに実態が把握されていないのが現状である。

そこで本節では、活発な漁業活動を逆に利用し、漁業用定置網をプラットフォームとした水温観測のデータを解析する。解析するデータは、対馬海峡から西部山陰沿岸にかけての10測点において、表層水温を1時間間隔で約1年間にわたり測定したもので、当該海域でこれほどの時空間分解能をもつ長期係留観測資料は過去に例がない。これらのデータに基づき、当該海域における数日～数週間スケールの水温変動の特徴を明らかにするとともに、その変動の要因について考察する。

2-1-2. 観測と解析資料

対馬海峡から山口県、島根県沿岸に点在する漁業用定置網にメモリー式水温計（アレック電子（現 JFE アドバンテック社製）、AT-8000、AT-32K）を取付け、表層水温のモニタリングを実施した。観測点は Fig. 2-1 の美津島（a：長崎県対馬市）、津屋崎（b：福岡県福津市）、蓋井島（c：山口県下関市）、川尻（d：山口県長門市）、通（e：山口県長門市青海島）、萩大島（f：山口県萩市大島）、宇田郷（g：山口県阿武町）、津摩（h：島根県浜田市）、江津（j：島根県江津市）である。ただし、b の津屋崎での観測は、定置網漁場ではなく、九州大学応用力学研究所の津屋崎観測ステーションで実施した。この他に、津摩の観測期間が他より短いので、それを補うために気象庁の浜田港内検潮所（浜田、i：島根県浜田市）の水温資料も利用した。解析には、以上の10地点の水温資料を用いたことになる。解析期間は1999年8月14日～2000年8月24日の約1年間（美津島と津摩は1999年12月21日～2000年8月24日の約8ヶ月間）である。各測点での観測の概要を Table 2-1 に示す。

定置網漁場の観測では、メモリー式水温計を定置網のブイや側綱からロープで吊し、約5 m深の水温を1時間

間隔で測定した (Fig. 2-2a)。この手法の利点は、潮汐などによる水位の昇降に影響されることなく、常に一定水深の水温を計測できることである。これに対して津屋崎と浜田の観測では、水位の昇降にもなって観測水深が変化することに注意が必要である (Fig. 2-2b)。

水温データの他に、福岡、下関、萩、浜田における気象データ（気温、気圧、風速、蒸気圧、全天日射量）および厳原、博多、須佐、浜田における水位データを利用した Fig. 2-1)。気象データは、気象庁編集CDの地上気象観測統計値（1999～2004）から抽出した。一方、水位データのうち厳原、博多、浜田については日本海洋データセンター (JODC) のウェブサイト (http://jdoss1.jodc.go.jp/vpage/tide_j.html) から、須佐については国土地理院のウェブサイト (<http://tide.gsi.go.jp/main.php?number=16>) からそれぞれ入手した。

2-1-3. 水温の数日周期変動

美津島から江津までの水温時系列を Fig. 2-3 に示す。各測点とも顕著な季節変化が認められ、1999年9月中旬に最高値を、2000年2月中旬～3月上旬に最低値（ただし、通 (e) は3月下旬に最低値）を、さらに2000年8月上旬～下旬に最高値（ただし、津屋崎 (b) は7月下旬に最高値）を示している。各測点で記録された水温の最高値・最低値の詳細を Table 2-2 に示す。

より短い周期の変動に注目すると、各測点とも1999年8～12月の降温期と2000年5～8月の升温期を中心に、数日～数週間程度の周期変動が認められる。この他に、津屋崎 (b) と蓋井島 (c) では12～3月にも数日周期の変動が現れている。なお、津屋崎 (b) と浜田 (i) では他の測点に比べて水温変動の振幅が大きく、水温の値も低めになっているが、これは観測方法の違いによるものと考えられる (Fig. 2-2)。

年間を通して優勢な変動の周期を調べるために、各測点におけるデータについて高速フーリエ変換 (FFT) 法によるスペクトル解析を行った。各点におけるスペクトル分布を Fig. 2-4 に示す。ただし、見やすくするために、江津 (j) のグラフを基準に各点のグラフを順に1オーダー ($\times 10^{\circ}\text{C}^2 \cdot (\text{cph})^{-1}$) ずつ上方にずらして表示している。すべての測点で1日と半日の潮汐周期帯にエネルギーピークが現れているが、半日周期帯については対馬海峡から島根県沿岸に向かってピークが小さくなる傾向がみられる。

1日より長い周期帯に注目すると、各測点で2～10日の周期帯に3～6個のエネルギーピークが認められる。特に、九州北岸の津屋崎 (b)、山口県西部の蓋井島 (c)、

川尻 (d)、通 (e) および島根県の江津 (j) の5点には共通点が認められ、4~5日周辺 (津屋崎 (b) : 5.1日, 蓋井島 (c) : 4.5日, 川尻 (d) : 4.8日, 通 (e) : 4.5日, 江津 (j) : 4.8日) と8日周辺 (津屋崎 (b) : 8.0日, 蓋井島 (c) : 8.0日, 川尻 (d) : 8.0日, 通 (e) : 8.1日, 江津 (j) : 8.0日) にピークが現れている。また、山口県東部の萩大島 (f) と宇田郷 (g) の2点のスペクトル形状が類似していることも特徴的である。

10日以上周期帯では、蓋井島 (c) : 13.8日, 通 (e) : 16.3日, 萩大島 (f) : 13.0日, 宇田郷 (g) : 13.4日, 浜田 (i) : 15.0日, 江津 (j) : 15.9日にピークが現れている。さらに30日前後の周期帯のエネルギーレベルも各点で高くなっている。これらのことから、対馬海峡から西部山陰沿岸にかけての水温変動には、Ogawa (1979) が指摘したように数日~数週間の時間スケールをもつ変動が卓越して存在していることがわかる。

そこで、Fig. 2-3のデータに移動平均法による25~720時間のバンドパスフィルターを施し、数日~数週間スケールの変動成分を抽出した (Fig. 2-5)。先に述べたように、数日~数週間周期の変動は降温期 (11~1月) と昇温期 (5~8月) に卓越しているようにみえる。そこで、抽出した25~720時間周期成分を60日のセグメントに分割し、10日間ずつづらしながらスペクトル計算を行うことにより、ダイナミックスペクトルを求めた。代表的な6測点 (津屋崎 (b)、蓋井島 (c)、通 (e)、宇田郷 (g)、浜田 (i)、江津 (j)) のダイナミックスペクトル・ダイヤグラムをFig. 2-6に示す。各測点とも10月下旬~12月下旬の降温期にエネルギーの極大を示した後、3月上旬~4月上旬に極小を示し、再び5~7月の昇温期にエネルギーが大きくなるような季節変化を示している。

2-1-4. 数日周期変動の時空間特性

数日~数週間スケール変動の時空間的な特徴を調べるため、Fig. 2-5のデータを使って、津屋崎 (b) から江津 (j) にかけてのホフメラー図を作成した (Fig. 2-7)。九州北部から山陰沿岸の広い範囲で一斉に正または負の偏差を示すような変動が卓越しているが、変動の様子を細かくみると、水温偏差の大きな領域は津屋崎 (b) ~蓋井島 (c)、あるいは川尻 (d) にかけてと、津摩 (h) ~江津 (j) にかけての2カ所に存在し、それらの境界域の通 (e) ~宇田郷 (g) では、変動の振幅が小さくなっている。また、あまり明瞭ではないが、津屋崎 (b) から山陰沿岸に沿って偏差が伝播する傾向 (例えば2000年2月中旬の負偏差や、2000年7月上旬の負偏差、同月下旬の正偏差など) が認められ、そのシグナルはやはり川尻 (d) あるいは通 (e) で弱まることが多い。典型的な例

として、2000年7月中旬のケースをFig. 2-8に示す。津屋崎 (b) で7月21日にみられたピークが川尻 (d) まで伝わり、やや不明瞭になるものの通 (e) もしくは萩大島 (f) 付近にまで伝播している様子がうかがえる。

以上のように、数日~数週間周期の変動には複数のモードが存在するように見えることから、複素経験的直交関数 (CEOF; Complex Empirical Orthogonal Function) 解析による変動のモード分解を試みた。通常経験的直交関数 (EOF; Empirical Orthogonal Function) 解析では定振動しか表現できないのに対し、CEOF解析では時間関数・空間関数を複素数で表すことで、伝搬現象を表現できる (Barnett, 1983; 伊藤・見延, 2010)。なお、津摩 (h) の観測期間は他の測点よりも短かったため、この解析からは除外した。

CEOF解析の結果を、Figs. 2-9, 2-10に示す。それぞれの上段の図は、空間振幅関数 (SAF; Spatial Amplitude Function) と空間位相関数 (SPF; Spatial Phase Function) の分布を示し、SAF (変動の振幅) は丸の大きさ、SPF (相対的な位相) はスティックで表されている。また中段、下段の図は、それぞれ時定数の位相 (TPF; Temporal Phase Function)、時定数の振幅 (TAF; Temporal Amplitude Function) の時系列で、位相と振幅の時間変化を示している。

CEOF第1モード (Fig. 2-9) は、津屋崎 (b) から江津 (j) までの全域においてほぼ同位相で変動するモードで、その寄与率は53.4%であった。SAFが全測点ともほぼ同一であることから、九州北部から島根県沿岸にかけてほぼ同じ強さで変動していることがわかる。一方、CEOF第2モード (Fig. 2-10) は、蓋井島 (c)、川尻 (d)、通 (e) における変動の位相と、それ以東の測点における変動の位相がほぼ180°異なる現象を表している。特に上記の山口県西部の測点と島根県の江津 (j) で、比較的大きなSAFを示している。CEOF第2モードの寄与率は11.0%であり、CEOF第1モードとCEOF第2モードとで全変動の60%以上を説明できる。

各モードの相対的な強度の時間変化はTAFによって示される。CEOF第1モードのTAF (Fig. 2-9下段) は、1999年9~10月、1999年12月、2000年7~8月に比較的大きな値を示していた。一方、CEOF第2モードのTAF (Fig. 2-10下段) はCEOF第1モードのそれよりも小さいが、1999年9~10月と2000年2月、2000年7~8月に比較的大きな値を示していた。

各モードの実数部分と虚数部分を再合成することにより作成した水温変動のホフメラー図をFigs. 2-11, 2-12に示す。第1モード (Fig. 2-11) は、九州北岸から島根県沿岸にかけての一斉変動で、10~15日程度の周期変動

が卓越しているが、1999年9月初旬～10月中旬および2000年5月中旬～8月上旬の期間には、より短周期の変動も見受けられる。一方、第2モード (Fig. 2-12) では、津屋崎 (b) と蓋井島 (c) の間、および萩大島 (f) ないしは宇田郷 (g) 付近に変動の節 (位相の反転) が認められる。また、蓋井島 (c) から通 (e) 付近までの位相伝播が認められるが、川尻 (d) よりも東への連続性は不明瞭である。次節では各モードの物理的な意味について考察する。

2-1-5. 考察

CEOF 第1モードは、対象海域全体 (津屋崎-浜田間約230 km) にわたって同位相、かつほぼ同じ振幅で変動するモードであることから (Figs. 2-9, 2-11), 広い空間スケールをもつ現象との関連が推測される。そこで、広域に作用する海面熱フラックス (Q_n) との関連を考察する。 Q_n は、次式に示すように貯熱量の時間変化 (dH/dt) と移流による熱輸送 (F) とバランスしていると考えられる。

$$\frac{dH}{dt} = Q_n + F$$

そこで、CEOF 第1モードの時係数 (CEOF1) の時間変化 ($\Delta CEOF1$) で dH/dt が代表できると考え、 Q_n との関連を調べることにする。まず、福岡、下関、浜田 (Fig. 2-1 下段) における気象官署のデータから、次式により海面熱フラックス (Q_n) を求めた。

$$Q_n = Q_s + Q_l + Q_e + Q_h$$

ここで、 Q_s は短波放射量、 Q_l は長波放射量、 Q_e は潜熱フラックス、 Q_h は顕熱フラックスを示す。

Q_s は、以下により求めた。

$$Q_s = (1 - \alpha) \cdot Q_{so}$$

ここに、 α はアルベドで 0.06、 Q_{so} は全天日射量を示す。

一方、 Q_l は、

$$Q_l = e \cdot (L_b - St \cdot Ts^4)$$

により求めた。ただし、

$$L_b = St \cdot Ta^4 \cdot (1 - (0.49 - 0.0066 \cdot Ea^{1/2})) \cdot Cs$$

$$Cs = 1 - 0.53 \cdot (1 - 0.0095 \cdot Ea) \cdot (C + 0.5 \cdot C^2)$$

で、 e は射出率 (= 0.96)、 St はステファン・ボルツマン係数 (= $5.67032 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}$)、 Ts は水温、 Ta は気温、 Ea は水蒸気圧、 C は雲量である。また、 Q_e 、 Q_h はバルク法によって求め、バルク係数は Kondo (1975) の値を採用した。

福岡、下関、浜田の Q_n の平均値と $\Delta CEOF1$ の時系列を Fig. 2-13 の上段と中段にそれぞれ示す。両者の変動には類似性が認められ、相関係数は $r = +0.63$ と有意

($p < 0.05$) であった (Fig. 2-13 下段)。このことから、CEOF 第1モードは大気変動 (海面熱フラックス) と関連した変動であると考えられる。

次に CEOF 第2モードについて考察する。CEOF 第2モードは、山口県西部 (蓋井島 (c)、川尻 (d)、通 (e)) と島根県沿岸の江津 (j) での振幅が大きく、かつ逆位相で変動するという特徴をもつ (Figs. 2-10, 2-12)。また、変動の節は萩大島 (f)、宇田郷 (g) 付近と、津屋崎 (b) と蓋井島 (c) の間に認められる。これら変動の節 (位相の不連続) は季節に関わらずに認められることから、海底地形との関連が示唆される。そこで CEOF 第2モードの SAF、SPF 分布と観測点付近の海底地形を比較すると (Fig. 2-10)、山陰沿岸における変動の節は、見島に連なる 100 m 以浅の浅瀬と対応していることがわかる。また SAF (変動の振幅) の大きな測点は、100 m 等深線に比較的近い (距岸 35 km 以下) という特徴がみられる (ただし、浜田は 100 m 等深線まで 10 km 以下と近いが、SAF は小さくなっている)。当該海域における対馬海流沿岸分枝は 100 m 等深線に沿うように流れていることを考えると (Katoh, 1994)、CEOF 第2モードは対馬海流沿岸分枝と関連した変動と考えられる。対馬海流沿岸分枝は見島や響灘沖の浅海域の影響を受けて離岸するため、岸に沿った測点でみると、水温変動に位相の不連続が表れると考えられる。

そこで、表層水温変動と対馬海流沿岸分枝との関連を調べるため、沿岸分枝の流路変動を反映すると考えられる沿岸水位と表層水温の同時解析を行った。

解析に用いた水位データは、厳原、博多、須佐、浜田 (Fig. 2-1 下段) の水位に気圧補正を施し (気圧データはそれぞれ厳原、福岡、萩、浜田の気象官署で得られたものを使用)、さらに 25~720 時間のバンドパスフィルターをかけたものである。水温と水位という異なる物理量を同時に扱うため、それぞれのデータを標準化した上で結合し、EOF 解析を行った。結合 EOF 解析 (combined Empirical Orthogonal Function) の結果得られた、各測点の固有ベクトルと固有値、寄与率を Table 2-3 に示す。水温の CEOF 第2モードに類似した固有ベクトル分布は、結合 EOF 解析では第3モード (寄与率 6.7%) に現れており、実際、結合 EOF 第3モードの時係数は水温の CEOF 第2モードの時係数と有意な正の相関 ($r = +0.69$) を示す。なお、結合 EOF 第1モード (Table 2-3; Mode1) は、水温・水位とも全点同位相で変動する一斉変動を表し、結合 EOF 第2モード (Table 2-3; Mode2) は水温と水位の固有ベクトルが異なる符号を示すことから、それぞれの場の独立した変動を反映したものと考えられる。結合 EOF 第3モード (Table 2-3; Mode3) の水位の固有ベク

トルに注目すると、巖原のみが正の値を示し、他の測点は負の値となっている。また、固有ベクトルの絶対値も巖原で最も大きな値 (0.61) を示している。このことは、水温の固有ベクトルと合わせて考えると、巖原の水位が高く、他の測点の水位が低いときに山口県西部の水温が高くなり、山口県東部～島根県沿岸の水温は低くなるような変動を表している。

対馬海峡東水道を通過する対馬海流の流量 (および表層流速) は、博多と巖原の水位差と高い正の相関をもつことが知られている (Takikawa *et al.*, 2005; Fukudome *et al.*, 2010)。したがって結合 EOF 第 3 モードは、対馬海峡東水道の通過流量 (および表層流速) が相対的に小さいとき (巖原の水位が高く、博多の水位が低いとき) に、山口県西部で高温、島根県沿岸で低温傾向を示すことを意味する。実際、結合 EOF 第 3 モードの時係数と 25～720 時間のバンドパスフィルターを施した博多-巖原の水位差とを比較すると、両者の間には有意な負の相関 ($r = -0.61$) が認められる (Fig. 2-14)。

以上のことから、対馬海峡東水道の流量が小さく、表層流速が弱いときに沿岸分枝の流路が不安定になり、見島の南へ暖水が流れ込むような状況がイメージされる。このような見島の南に高温水が流入するパターンは、人工衛星の熱赤外画像にしばしば認められ (Fig. 2-15)、広瀬ら (2009) の対馬海峡東水道からの流れが見島で北と南に分岐し、沖合分枝と沿岸分枝が形成されるという流動パターンを示唆している。しかしながら、この仮説を検証するためには沖合の海況についてさらに検討する必要がある。

2-2. 萩-見島旅客船の水温データにみられる沖合での水温変動

2-2-1. 序論

前節では、定置網漁場で得られた水温資料に基づき、数日～数週間スケールの水温変動の特徴を示すとともに、対馬海峡東水道の流量 (および表層流速) が小さいときに、見島南方に暖水が流れ込むのではないかとの仮説を提案した。しかしながら、定置網は距岸数 km 以内に敷設されているため、定置網漁場の資料のみから沖合の海況を議論するには限界があった。そこで本節では、萩と見島を往復する旅客船によって得られた水温データを用いて、沖合での水温変動について検討する。なお、見島は萩市の北北西約 45 km の沖合に位置する漁業、農業を主幹産業とする人口 1,000 人超の島である (Fig. 2-16)。

2-2-2. 観測とデータ

山口県水産研究センターでは、萩浜崎と見島を結ぶ定

期旅客船「おによらず」(258 トン) に水温収録装置を取り付け、その航路上での水温モニタリングを 2006 年 12 月から実施している。これ以前は航路上の定点 ($34^{\circ} 39' N$, $131^{\circ} 15' E$ 付近) で 1 日 1 回のみでの計測を行っていたが、水温収録装置を取り付けることでモニタリング海域を航路全域に広げることができ、さらに時空間的に密なデータを得ることができるようになった。通常、萩浜崎を出港した旅客船は、相島付近 ($34^{\circ} 30' N$) で変針し、見島本村港、宇津港へと至る航程をとる (Fig. 2-16)。1 日あたりの運行は、萩-見島間 3 往復が基本であるが、冬季には 2 往復に減便され、逆に帰省客の多い 5 月連休や盆時期には 4 往復に増便されることがある。航海中のすべての水温データを記録するように設定されているが、旅客船がドックに入っている期間 (11 月) は欠測となる。

旅客船の水温計は、古野電気社製 TI-20 (分解能 $0.01^{\circ} C$, 測定精度 $\pm 0.2^{\circ} C$) である。水温計の信号は、インターフェースを介して、GPS の位置情報とともに 2～3 秒に 1 回の時間間隔でパーソナルコンピュータに収録される。水温計は機関冷却水の取込口に設置されており、喫水を考慮すると海面下約 3～4 m の水温を計測していることになる。

本研究では水深が 50 m 以上となる $34^{\circ} 30' N \sim 34^{\circ} 45' N$ の範囲のデータを抽出し、緯度 1 分ごとに日平均値を算出したものを解析の基本データセットとした。解析期間は、2007 年 1 月 1 日から 2009 年 12 月 31 日までの 3 年間である。

この他に、沿岸域のデータとして長門市青海島の通地区 (Fig. 2-16) の定置網で得られた水温データ (2007 年 7 月 6 日～2009 年 9 月 30 日) を使用した。こちらは 1 時間ごとのデータが得られているが、旅客船データとの比較のため日平均値を求め、それを解析用のデータセットとした。

2-2-3. 沖合水温変動の特徴

萩沖 ($34^{\circ} 30' N$) から見島 ($34^{\circ} 45' N$) までの緯度 5 分毎の表層水温の時系列を Fig. 2-17 に示す。ただし Fig. 2-17 では、見やすくするために、最も南の地点 (グラフ d) を基準に北の地点の時系列を $2^{\circ} C$ ずつ高温側にずらして表示している。定置網漁場水温と同様に、各地点とも 8～9 月に最高水温を、2～3 月に最低水温を示すような季節変化が認められる。

優勢な水温変動の周期を調べるため、緯度 1 分ごとの航路上 16 地点の水温について、FFT 法によるスペクトル解析を行った。なおスペクトルの計算には、欠測期間を線形内挿した 3 年間の資料を用いた。代表的な 4 地点 ($34^{\circ} 45'$, $40'$, $35'$, $30' N$) における水温変動の

スペクトルを Fig. 2-18 に示す。航路上で卓越する周期帯は 4.5~4.9 日, 8.1 日, 11.1~11.5 日, 14.6~16.0 日, 27.0~31.1 日となっており, 11 日周期帯を除いて定置網漁場水温とほぼ同様であった。この 11 日周期帯の変動には, Fig. 2-19 の緯度-周波数ダイアグラムからわかるように, 航路の中央部 (34° 33' ~41' N) で特に高いエネルギーを示すという特徴がある。

これら卓越周期成分の時間変化を調べるために, 各地点における水温変動のダイナミックスペクトルを計算した。具体的には, 季節変化を取り除くために基本データセットから 31 日間の移動平均値を差し引いたデータセットを作成し (Fig. 2-20), それを 128 日間のセグメントに分け, 10 日ずつずらしながら FFT 法によるスペクトル計算を行った。代表的な 4 地点におけるダイナミックスペクトルを Fig. 2-21 に示す。定置網漁場水温のダイナミックスペクトル (Fig. 2-6) とは異なり, 最高水温を示す 7~8 月を中心にエネルギーが高くなり, 1 月に極小を示すような変化を示している。

次に航路上の沖合水温と沿岸の定置網漁場水温 (青海島の通, Fig. 2-16) との関係について述べる。なお, 両者の比較には欠測の少ない 2008 年の資料を用いた。

沖合の代表点としては 34° 41' N を選んだ。この点は, 解析期間の水温を緯度別に平均したときに最も水温の高い値を示す緯度でもある (Fig. 2-24b 参照)。季節変動を除去するために, 沖合代表点と定置網漁場の水温時系列について 31 日移動平均値からの偏差を求めた (Fig. 2-22)。両者は互いによく似た変動を示しているが, 定置網漁場水温の方が沖合水温よりも若干振幅が大きい傾向がある。両者のコヒーレンシーを Fig. 2-23 に示す。特にコヒーレンスの高い周期帯は, 4~5 日 (ピークは 4.4 日) と 8~9 日 (ピークは 8.0 日) にみられるが, これらは航路上で卓越する周期変動の一部に対応している (Fig. 2-18)。また, これらの周期帯では位相差が小さい (それぞれ -14.5°, 20.3°) ことから, 沖合と沿岸とでほぼ同時に変動が生じていることがわかる。

2-2-4. 考察

航路上水温の緯度-時間断面図を Fig. 2-24 に示す。航路上での一斉変動が目立つが, これは 2-1 節の定置網漁場水温変動からの類推から, 広域に作用する海面熱フラックスに起因するものと考えられる。そこで, このような航路上の一斉変動を除去するために, 欠測の少ない 2007 年 11 月 20 日~2008 年 11 月 4 日の資料について, 日単位で航路上水温の空間平均値を求め, それからの偏差のデータセットを作成した。代表的な 4 地点における時系列 (Fig. 2-25) をみると, 8 月下旬の変動 (北部で

は正偏差, 南部では負偏差) のような特徴的な変動が散見される。そこで変動の空間構造を詳しくみるために, 緯度 1 分毎の 16 地点のデータを用いて EOF 解析を行った。

EOF 第 1 モード, 第 2 モードの固有ベクトルの空間分布を Fig. 2-26 に, 時係数を Fig. 2-27 に示す。EOF 第 1 モード (寄与率 50.0 %) は 34° 37' ~38' N を境に南北で固有ベクトルの符号が反転するシーソー変動である。一方, EOF 第 2 モード (寄与率 24.1 %) は, 海域中央とその南北とで固有ベクトルの符号の異なる変動で, 特に海域中央部で振幅が大きいという特徴がみられる。各モードの卓越周期を調べるため, 時係数に対して FFT 法によるスペクトル解析を行った (Fig. 2-28)。EOF 第 1 モードのエネルギーは約 4 日にピークがあり, 6~8 日および 14~20 日周期帯のエネルギーも高くなっている。一方, EOF 第 2 モードは, 3 日, 4 日, 8~9 日周期帯にエネルギーピークがみられる。

2-1 節では, 対馬海峽東水道の流量 (および表層流速) が小さいときに見島南方に暖水が流れ込むのではないかと, という仮説を提案した。この仮説が正しければ, 対馬海峽東水道の通過流量 (および表層流速) と沖合水温変動との間にも関連がみられるはずである。そこで, 対馬海峽東水道の通過流を代表する博多-厳原の水位差 (Fig. 2-29) と, 上記の EOF 第 1 モード, 第 2 モードの時係数を比較した。EOF 解析に用いた航路上水温のデータセットは 31 日移動平均値からの偏差なので, 博多-厳原の水位差についても同様の処理を施した。なお, 水位データには, 福岡, 厳原の気象官署の海面気圧で補正を施した。単純に両者の相関係数を求めると, EOF 第 1 モードでは $r = +0.18$, EOF 第 2 モードでは $r = -0.04$ となり, 有意な関係は認められない。そこで, 水位差と各モードの時係数の間でコヒーレンスを計算した (Fig. 2-30)。EOF 第 1 モードでは 3.9 日に, 第 2 モードでは 2.3 日に最も高いピーク (それぞれ 0.74, 0.62) が認められる。このうち各モードの卓越周期に対応しているのは, 第 1 モードの 3.9 日周期帯である。EOF 第 1 モードの 3.9 日に対応する位相は 40.8° (10.6 時間) であることから, この周期帯の変動に関しては, 水位差と水温がほぼ同位相で変動していることがわかる。この結果は, 博多-厳原の水位差が大きい (小さい) とき (すなわち対馬海峽東水道の通過流量 (および表層流速) が大きい (小さい) とき) に, 見島南方の水温が低下 (上昇) する傾向があることを示しており, 前節で示した仮説を支持する結果となっている。

2-3. まとめと考察

2-1 節および 2-2 節で議論した数日~数週間スケール

の水温変動の特徴をまとめると以下の通りである。

定置網漁場における表層水温観測の資料解析からは、西部山陰沿岸には数日～数週間スケールの変動が存在することが明らかになった (Fig. 2-4)。また、この時間スケールの変動は、対象海域の水温が一斉に昇降するモード (CEOF 第1モード, 寄与率 53.4%) と、山口県西部と東部で位相が逆転するモード (CEOF 第2モード, 寄与率 11.4%) から主に構成されていた (Figs. 2-9, 2-10)。さらに CEOF 第2モードには、九州北部から山口県中部まで、山陰沿岸に沿って変動が伝播するという特徴がみられた。CEOF 第1モードの時係数には、海面熱フラックスの時間変動との間に有意な相関関係が認められたことから (Fig. 2-13)、CEOF 第1モードは大気変動に関連した変動と考えられた。一方、CEOF 第2モードには季節によらない定在的な位相の不連続がみられること、また位相伝播が認められることから (Figs. 2-10, 2-12)、海底地形に捕捉された対馬海流沿岸分枝との関連が示唆された。そこで、対馬海流沿岸分枝の流路変動を反映する沿岸水位と表層水温の同時解析 (結合 EOF 解析) を行った結果、博多-厳原の水位差が小さいとき (対馬海峡東水道の通過流量が相対的に小さいとき) に、山口県西部沿岸で高温、島根県沿岸で低温傾向を示すことがわかった (Table 2-3)。この結果に基づき、対馬海峡東水道の流量が小さく、表層流速が弱いときに沿岸分枝の流路が不安定になり、見島の南へ暖水が流れ込むのではないかと、という仮説を提案した。

萩-見島旅客船による表層水温観測の資料解析からは、航路上 (沖合) の水温には沿岸水温と同様の変動特性が認められることがわかった (Figs. 2-18, 2-22, 2-23)。沖合水温の数日～数週間スケールの変動成分について EOF 解析を行った結果、航路の南北で位相が反転するモード (EOF 第1モード, 寄与率 50.0%) と、航路中央と航路の南北で逆位相を示すモード (EOF 第2モード, 寄与率 24.1%) から主に構成されていることが示された (Fig. 2-26)。各モードの時係数と博多-厳原の水位差の間でコヒーレンスを調べたところ、EOF 第1モードの卓越周期帯 (3.9日) で高い相関関係が認められ (Fig. 2-30)、先の仮説を支持する結果が得られた。

1-3節で紹介したように、Ogawa (1979) は山口県沿岸域におけるカタクチイワシ魚群の沿岸漁場への補給を論じ、その補給間隔のモードは3日、平均で4日であると述べている。そして、海況変動にもほぼ同じ時間スケールの変動を見出し、表層水温の前日差が 0.5°C 以上となる変化のモードは3日にあり、平均では約5日の時間間隔で生起するとして、両者の関係を議論している。本研究でも、西部山陰沿岸の広い範囲にわたって、定置漁場

水温に4～5日周期の卓越変動が認められ (Fig. 2-4)、変動の振幅も $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 程度 (Fig. 2-7) と、Ogawa (1979) の記述と矛盾しない結果が得られている。しかし、水温変動には8日周期帯や13～15日周期帯にも卓越変動が存在し、さらにこれらの変動は昇温期や降温期に振幅が大きくなるなど、長期係留観測によらなければ明らかでない、新しい知見が得られた。また Ogawa (1979) では、前日差 0.5°C 以上の水温変動を移流によるものと仮定し、移流の影響について述べているが、本研究で議論した数日～数週間スケールの水温変動には、海面からの熱フラックスが重要であることが明らかとなった。

対馬海流沿岸分枝流が定置漁場水温に与える影響も全変動の10%程度あり、対馬海峡東水道の通過流量が相対的に小さいときに見島の南へ暖水が流入し、山口県西部沿岸で高温、島根県沿岸で低温傾向を示すという結果が得られた。本研究では水温変動と漁獲量との関係にまで踏み込んだ解析はできなかったが、多くの魚類が水温変動に敏感であることを考えると、見島の南海域への魚群の補給・輸送過程に及ぼす暖水流入の影響は小さくないと推測される。今後は、博多-厳原間の水位差や定置水温資料と定置網漁獲量との比較を行い、両者の関連を調べる必要がある。

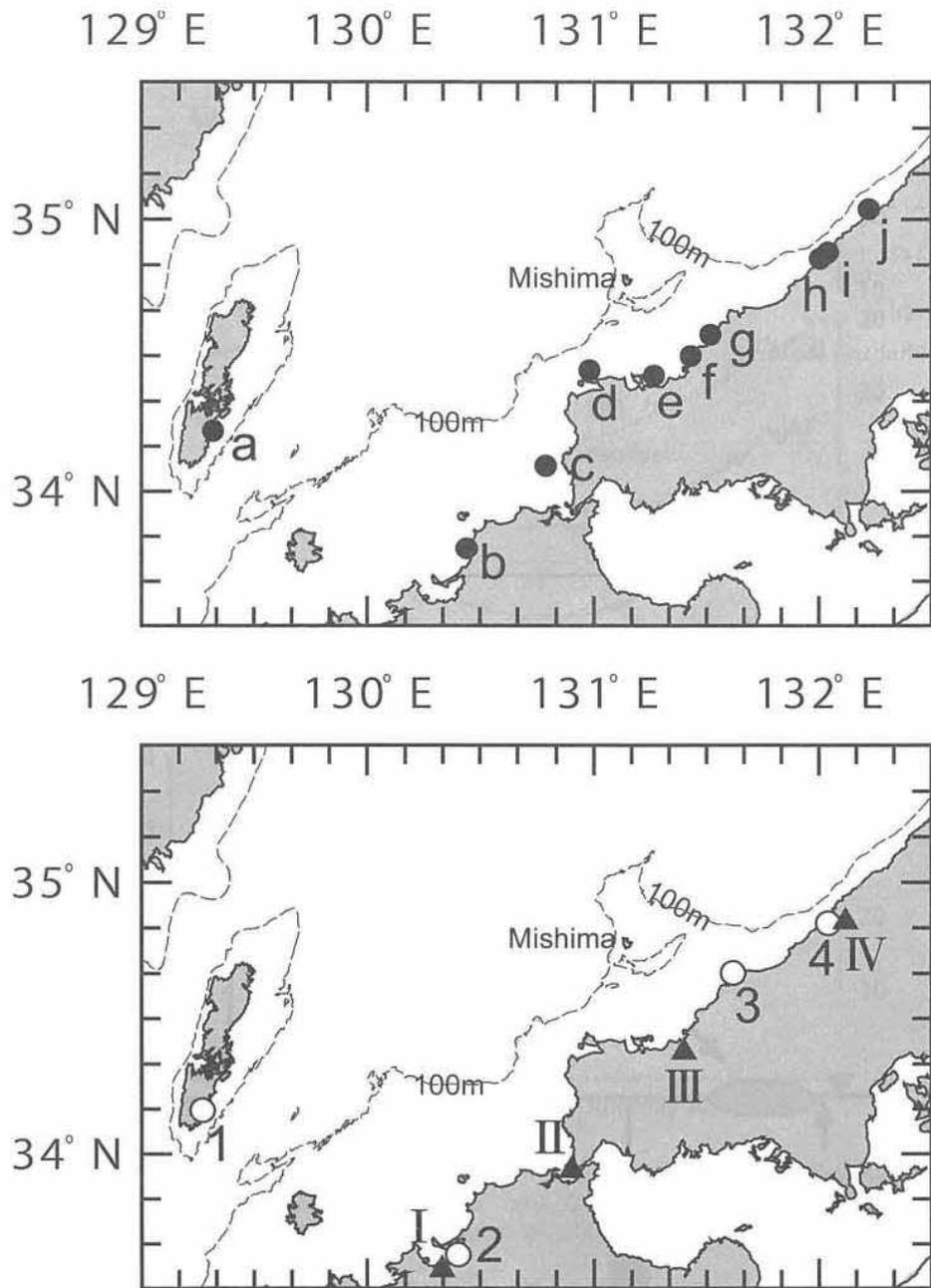


Fig. 2-1 Map of sea surface temperature monitoring stations (closed circles; upper panel): a Mitsushima, b Tsuyazaki, c Futaoi Island, d Kawajiri, e Kayoi, f Hagi-Ohshima Island, g Utagoh, h Tsuma, i Hamada, j Gohtsu; tidal stations (open circles; lower panel): 1 Izuhara, 2 Hakata, 3 Susa, 4 Hamada and weather stations (closed triangles; lower panel): I Fukuoka, II Shimonoseki, III Hagi, IV Hamada. Broken lines are 100 m isobath.

Table 2-1 Sea surface temperature monitoring stations

Station	Platform	Period	Sampling interval
(a) Mitsushima	Set net	1999.12.21-2000.8.24	1 hour
(b) Tsuyazaki	Tower	1999.8.14-2000.8.24	1 hour
(c) Futaoi Island	Set net	1999.8.14-2000.8.24	1 hour
(d) Kawajiri	Set net	1999.8.14-2000.8.24	1 hour
(e) Kayoi	Set net	1999.8.14-2000.8.24	1 hour
(f) Hagi-Ohshima Island	Set net	1999.8.14-2000.8.24	1 hour
(g) Utagoh	Set net	1999.8.14-2000.8.24	1 hour
(h) Tsuma	Set net	1999.12.21-2000.8.24	1 hour
(i) Hamada	Tide station	1999.8.14-2000.8.24	1 hour
(j) Gohtsu	Set net	1999.8.14-2000.8.24	1 hour

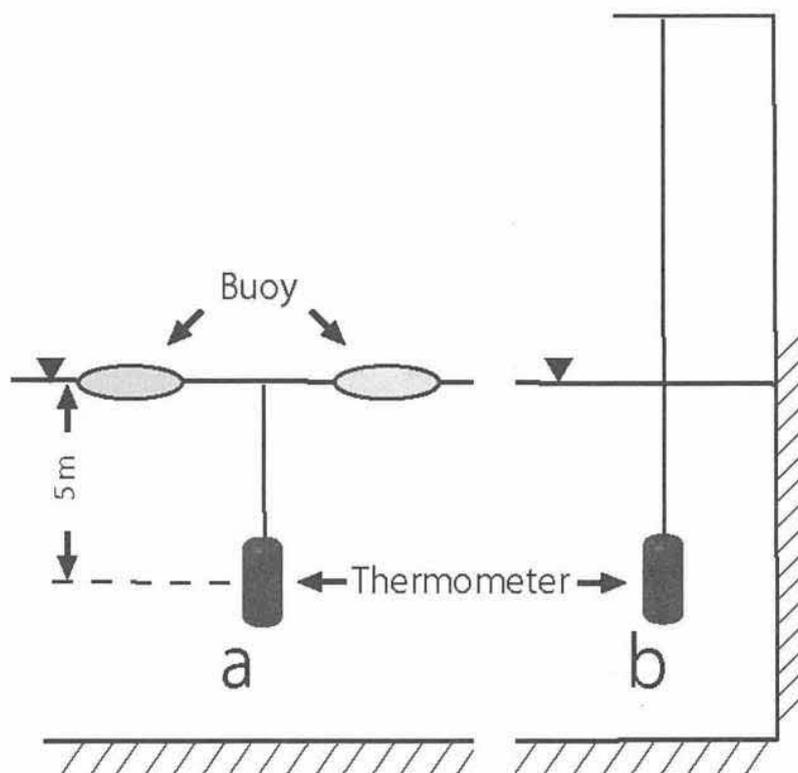


Fig. 2-2 Mooring system of the thermometer at set net fishing ground (a) and at monitoring station except set net fishing ground (b).

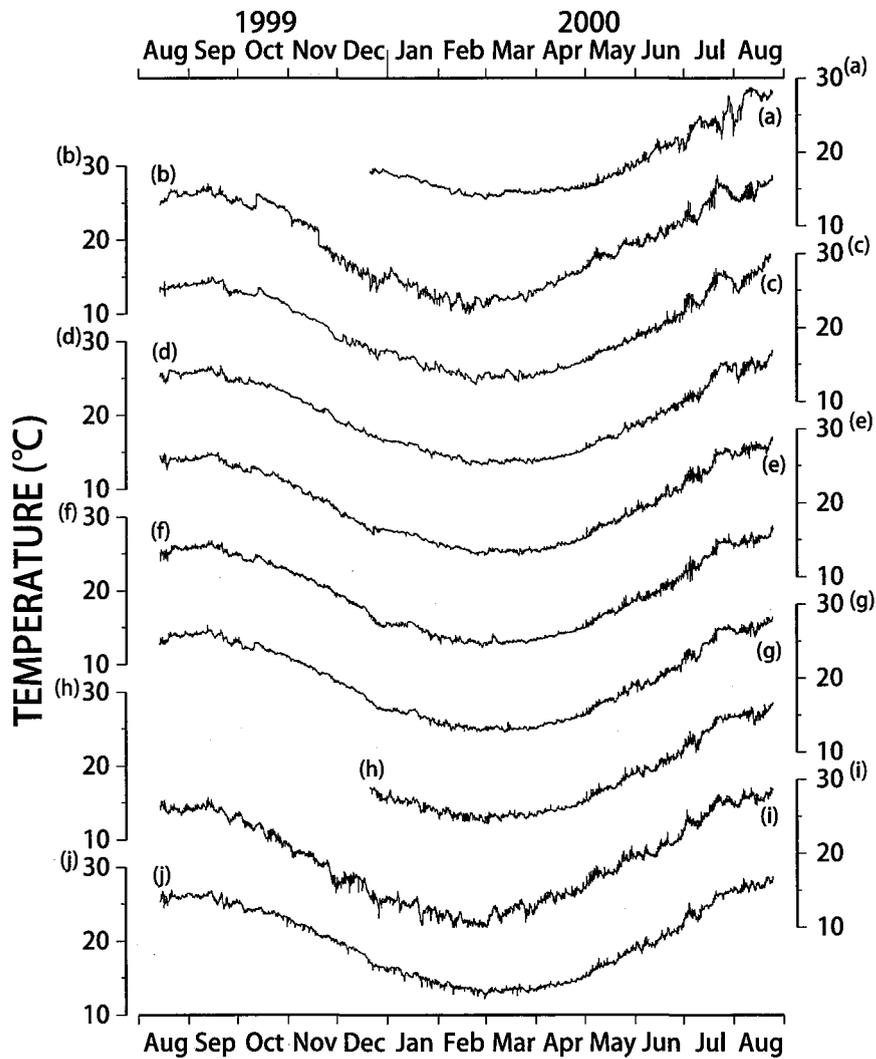


Fig. 2-3 Temporal variations in sea surface temperature at (a) Mitsushima, (b) Tsuyazaki, (c) Futaoi Island, (d) Kawajiri, (e) Kayoi, (f) Hagi-Ohshima Island, (g) Utagoh, (h) Tsuma, (i) Hamada, and (j) Gohtsu, during the period of August 14, 1999 - August 24, 2000.

Table 2-2 Maximum and minimum sea surface temperature.

Station	Max. (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)
	1999 summer	2000 winter	2000 summer
(a) Mitsushima	-	13.60	28.82
	-	2000/3/1	2000/8/1
(b) Tsuyazaki	27.67	9.59	28.76
	1999/9/12	2000/2/20	2000/7/21
(c) Futaoi Island	26.90	12.24	30.79
	1999/9/14	2000/2/24	2000/8/23
(d) Kawajiri	26.72	13.25	28.77
	1999/9/20	2000/2/27	2000/8/24
(e) Kayoi	26.91	12.85	28.93
	1999/9/12	2000/3/21	2000/8/24
(f) Hagi-Onshima Island	26.71	12.26	28.88
	1999/9/14	2000/2/28	2000/8/24
(g) Utagoh	26.68	12.71	28.37
	1999/9/12	2000/2/24	2000/8/24
(h) Tsuma	-	12.09	28.59
	-	2000/3/2	2000/8/24
(i) Hamada	27.60	8.80	28.90
	1999/9/12	2000/2/19	2000/8/11
(j) Gohtsu	26.88	12.09	28.75
	1999/9/14	2000/2/29	2000/8/24

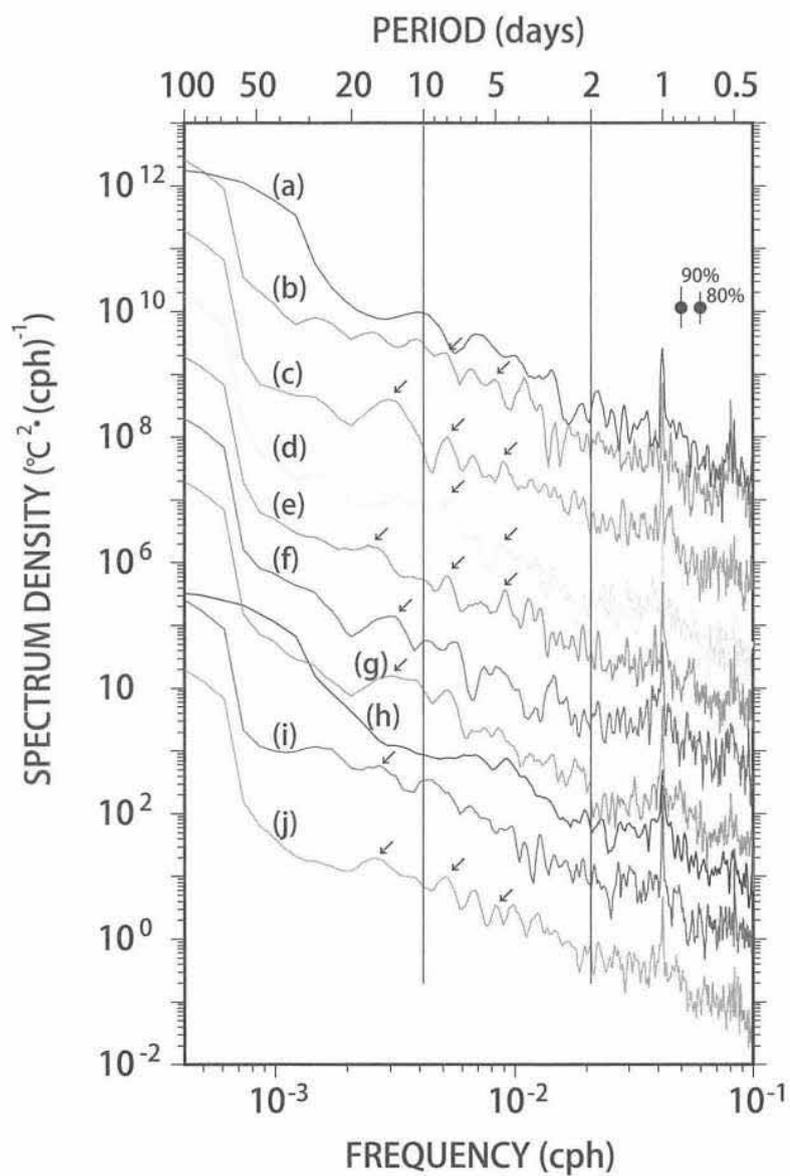


Fig. 2-4 Spectrum density diagrams at (a) Mitsusima, (b) Tsuyazaki, (c) Futaoi Island, (d) Kawajiri, (e) Kayoi, (f) Hagi-Ohshima Island, (g) Utagoh, (h) Tsuma, (i) Hamada, and (j) Gohtsu. Diagrams ((a)-(i)) are shifted higher spectrum density side by $10^{\circ}\text{C}^2 \cdot (\text{cph})^{-1}$ in order.

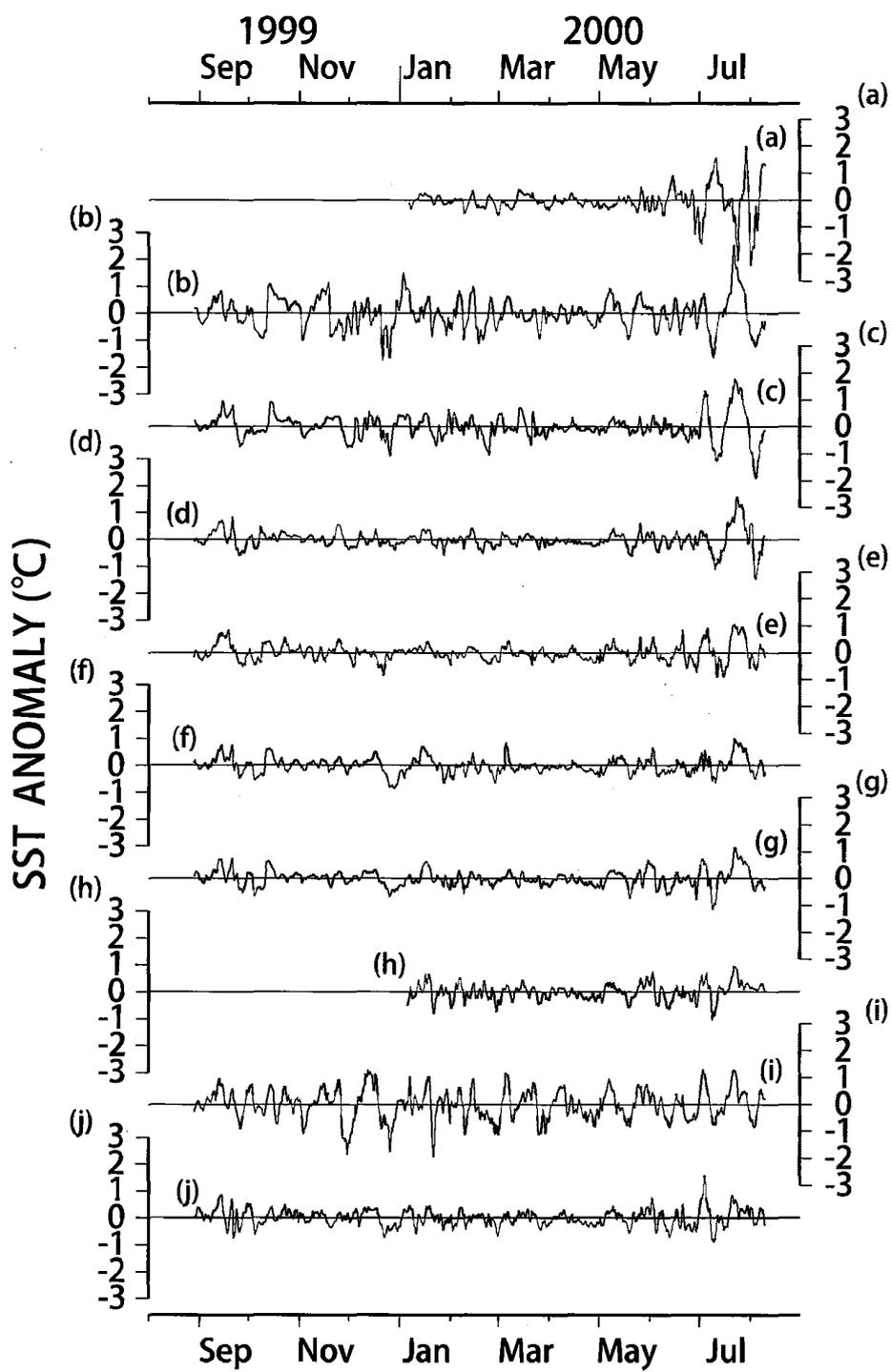


Fig. 2-5 Time series of 25-720 hour band-pass filtered SST at (a) Mitsushima, (b) Tsuyazaki, (c) Futaoi Island, (d) Kawajiri, (e) Kayoi, (f) Hagi-Ohshima Island, (g) Utagoh, (h) Tsuma, (i) Hamada, and (j) Gohtsu .

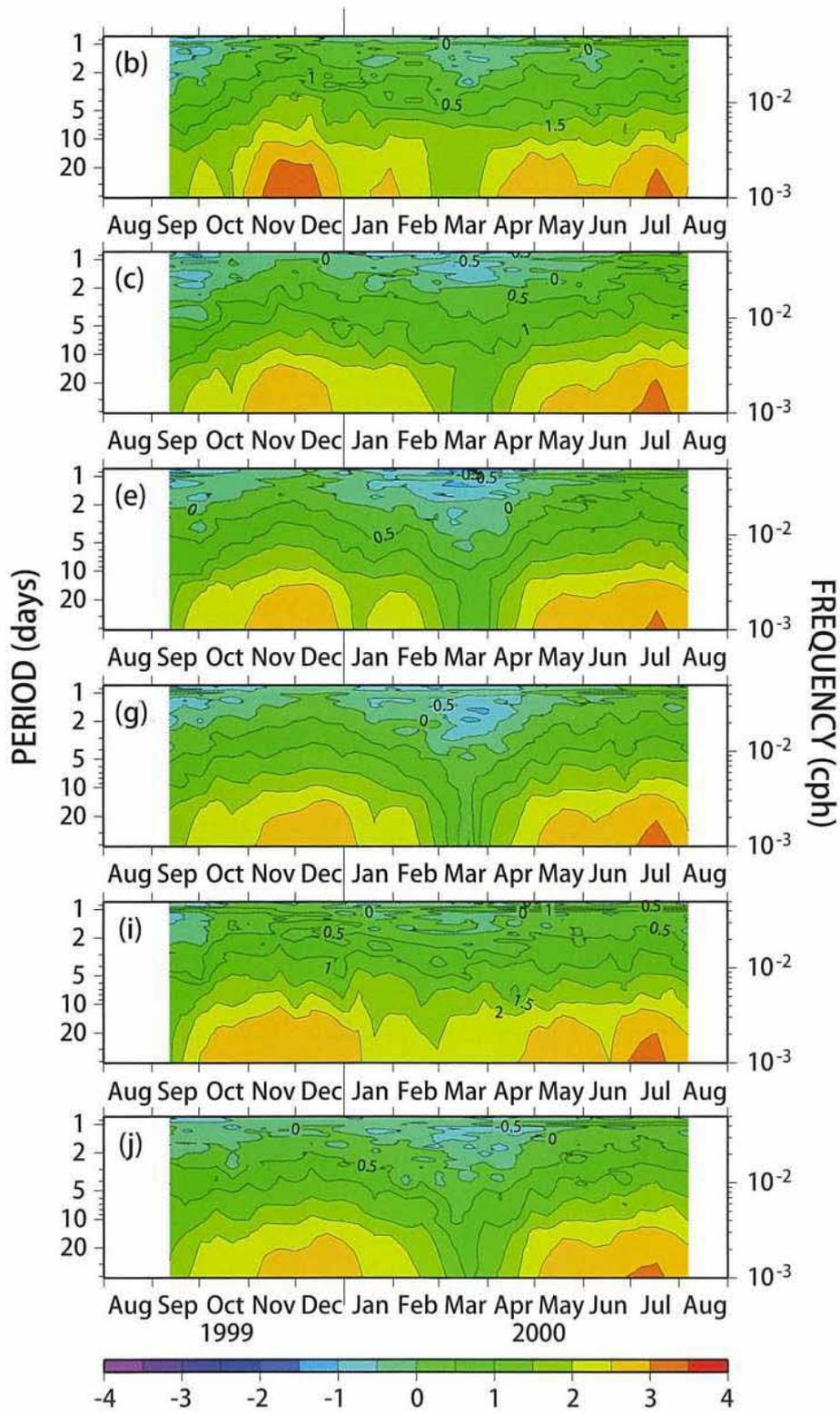


Fig. 2-6 Dynamic spectra of water temperature variation at (b) Tsuyazaki, (c) Futaoi Island, (e) Kayoi, (g) Utagoh, (i) Hamada, and (j) Gohtsu. The values are expressed in terms of the common logarithm in scale. Contour interval is 0.5.

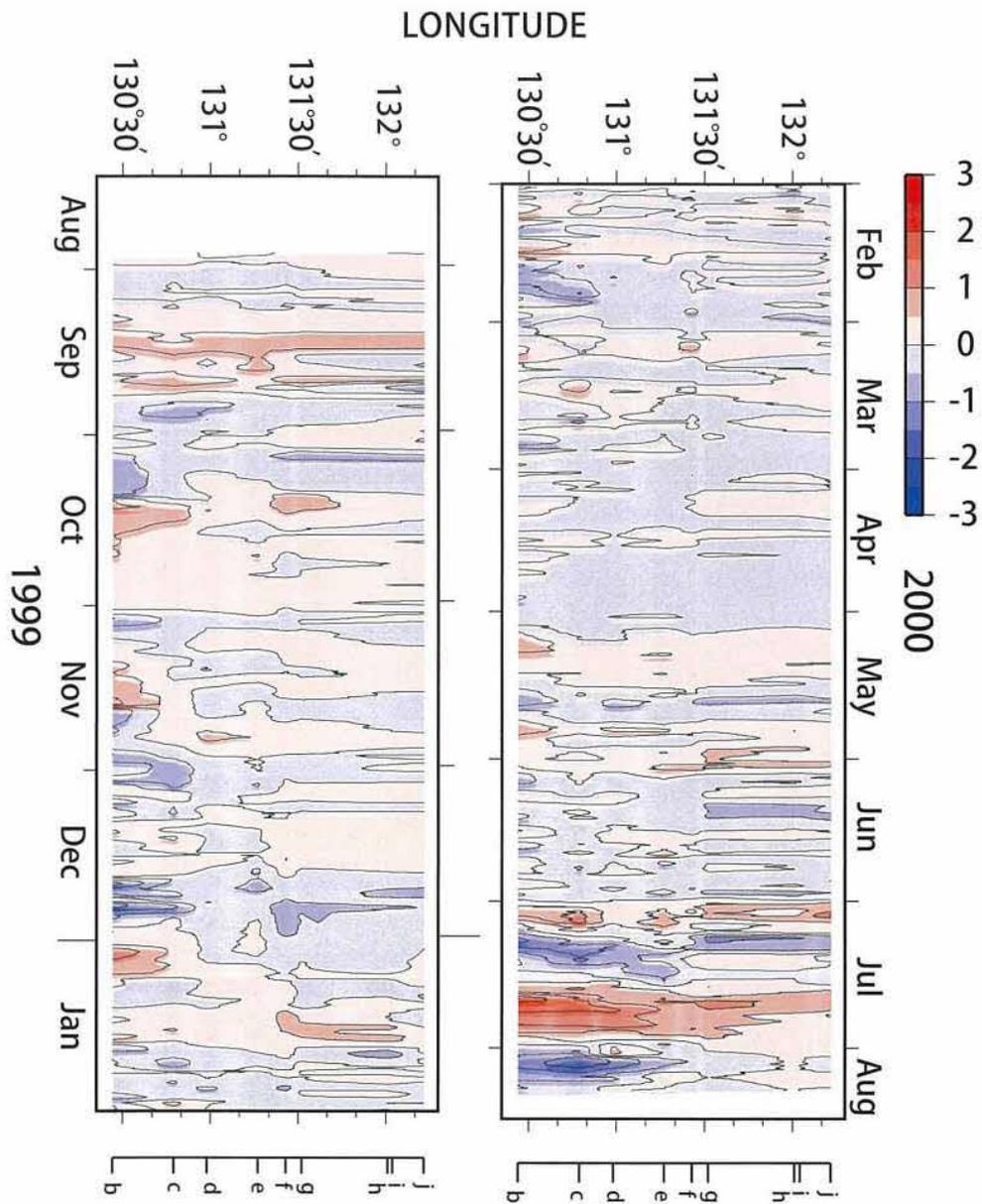


Fig. 2-7 Time-space diagram of the 25-720 hour band-passed sea surface temperature. Small letters at bottom of each Figure show monitoring stations: (b) Tsuyazaki, (c) Futaoi Island, (d) Kawajiri, (e) Kayoi, (f) Hagi-Oshima Island, (g) Utagoh, (h) Tsuma, (i) Hamada, and (j) Gohtsu. The contour interval is 0.5 °C and the color bar shows the temperature anomaly scale.

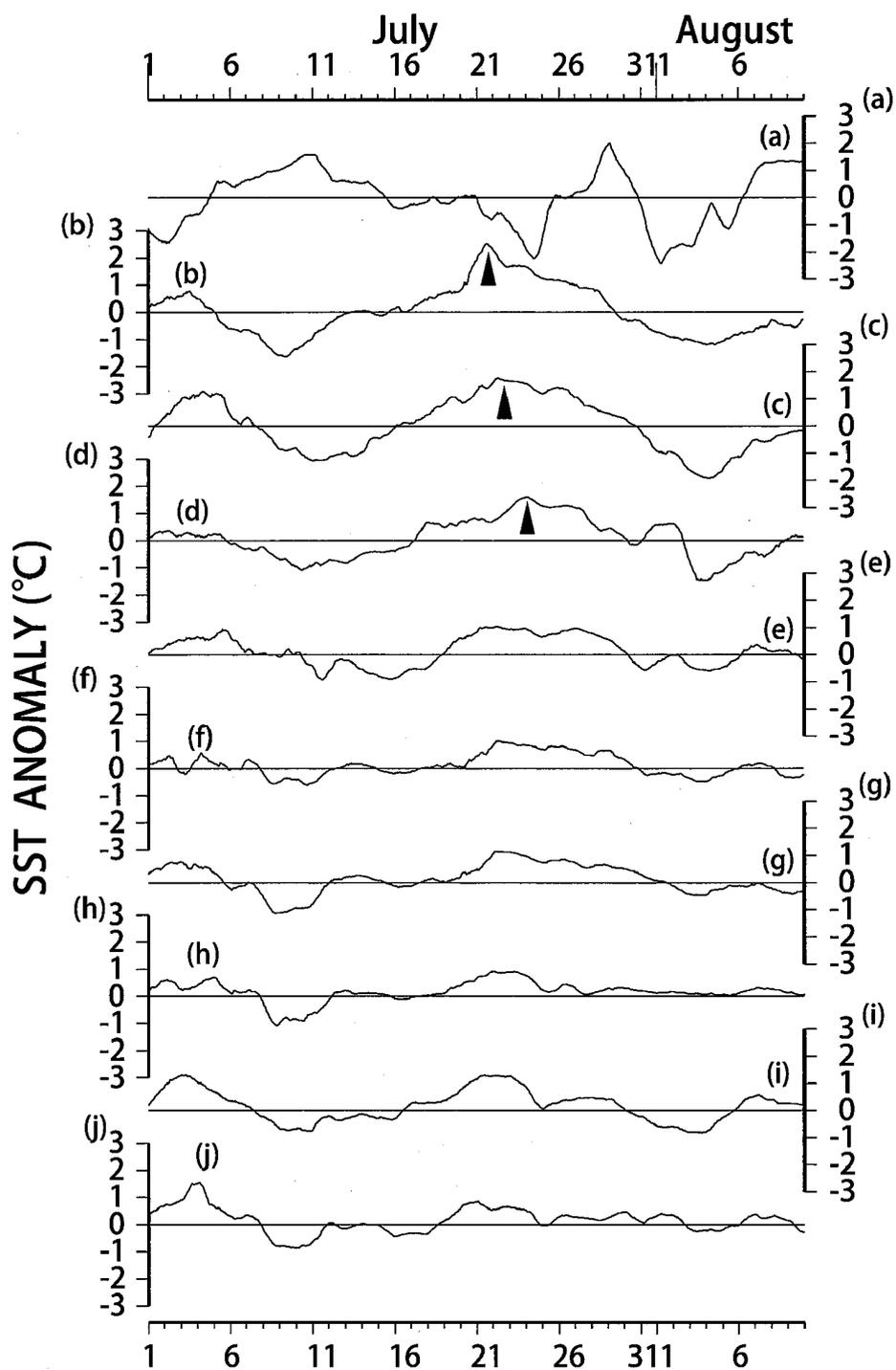


Fig. 2-8 Time series of the 25-720 hour band-pass filtered SST at (a) Mitsushima, (b) Tsuyazaki, (c) Futaoi Island, (d) Kawajiri, (e) Kayoi, (f) Hagi-Ohshima Island, (g) Utagoh, (h) Tsuma, (i) Hamada, and (j) Gohtsu, during the period of July 1, 2000 - August 10, 2000.

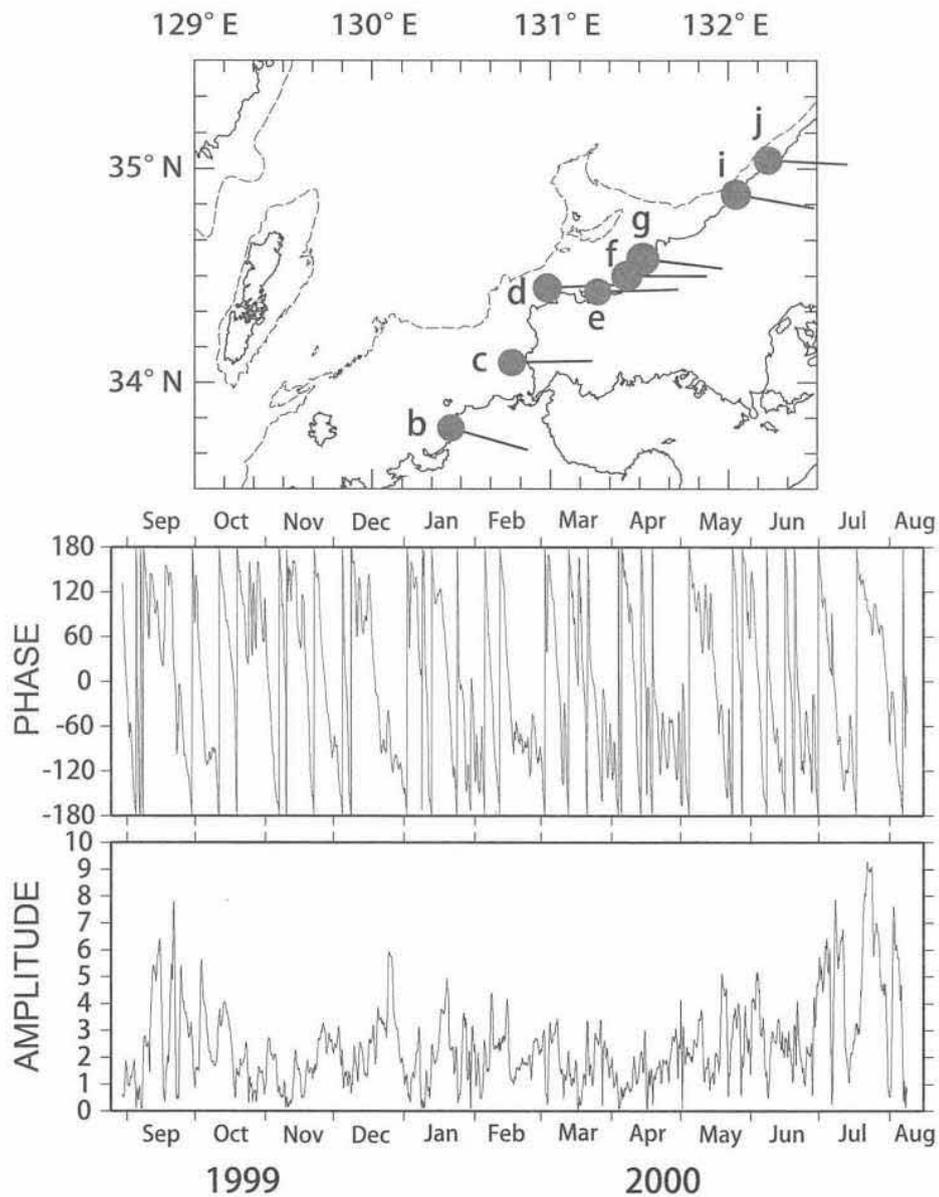


Fig. 2-9 The spatial distribution of spatial amplitude function (SAF) and spatial phase function (SPF) for the complex EOF (CEOF) first mode. The size of the solid circles is proportional to SAF value at each station. The directions of sticks indicate SPF at each station. Small letters in the upper panel show monitoring stations: (b) Tsuyazaki, (c) Futaoi Island, (d) Kawajiri, (e) Kayoi, (f) Hagi-Oshima Island, (g) Utogoh, (i) Hamada, and (j) Gohtsu. Middle and lower panels show the time series of temporal phase function (TPF) and temporal amplitude function (TAF), respectively.

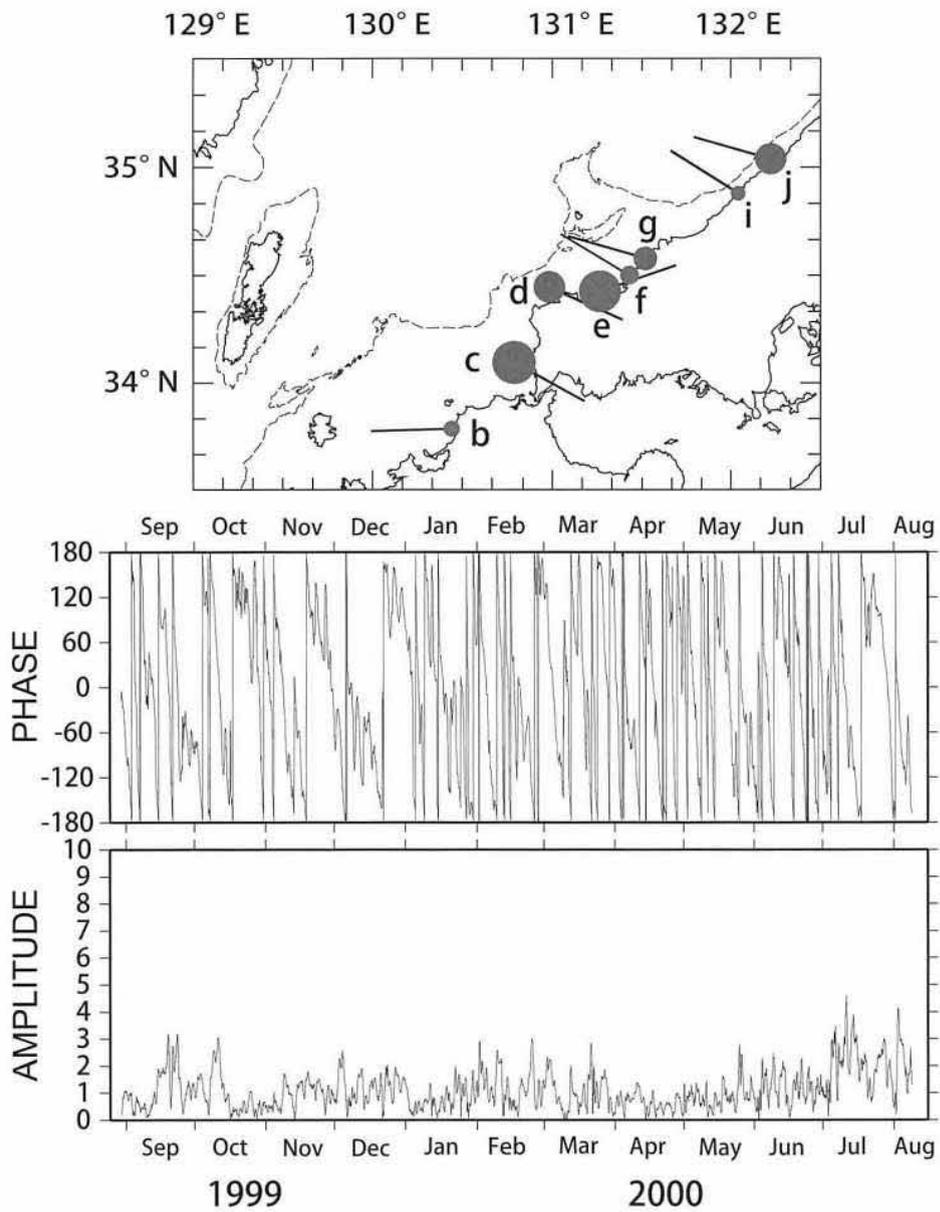


Fig. 2-10 Same as Fig. 2-9 but for CE0F second mode.

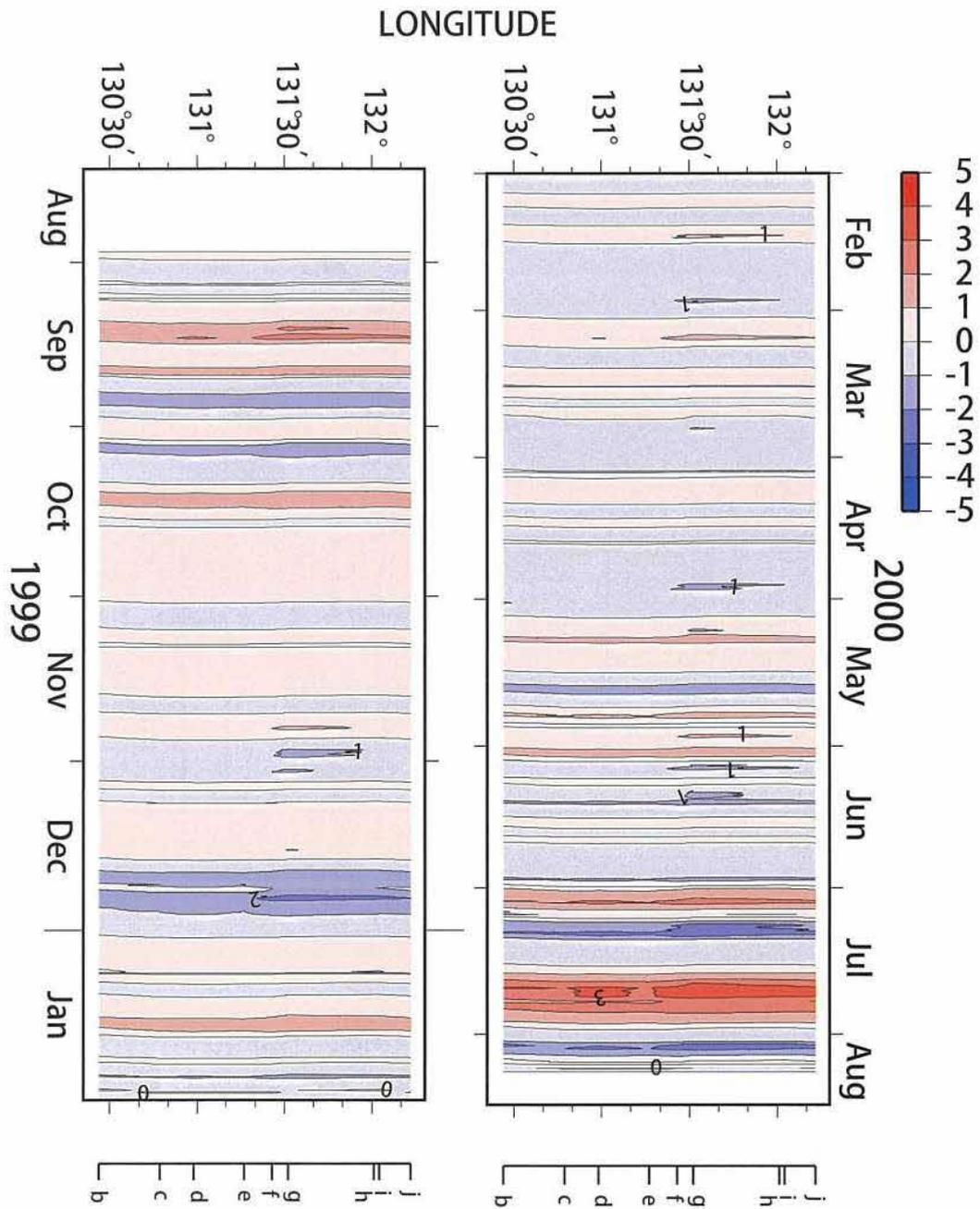


Fig. 2-11 Time-space diagram for reconstructed sea surface temperature for the CEOF first mode during the period from August 1999 to August 2000. The contours indicate the reconstructed temperature every 1.0 °C. Small letters at bottom of each panel show monitoring stations: (b) Tsuyazaki, (c) Futaoi Island, (d) Kawajiri, (e) Kayoi, (f) Hagi-Oshima Island, (g) Utagoh, (h) Tsuma, (i) Hamada, and (j) Gohtsu.

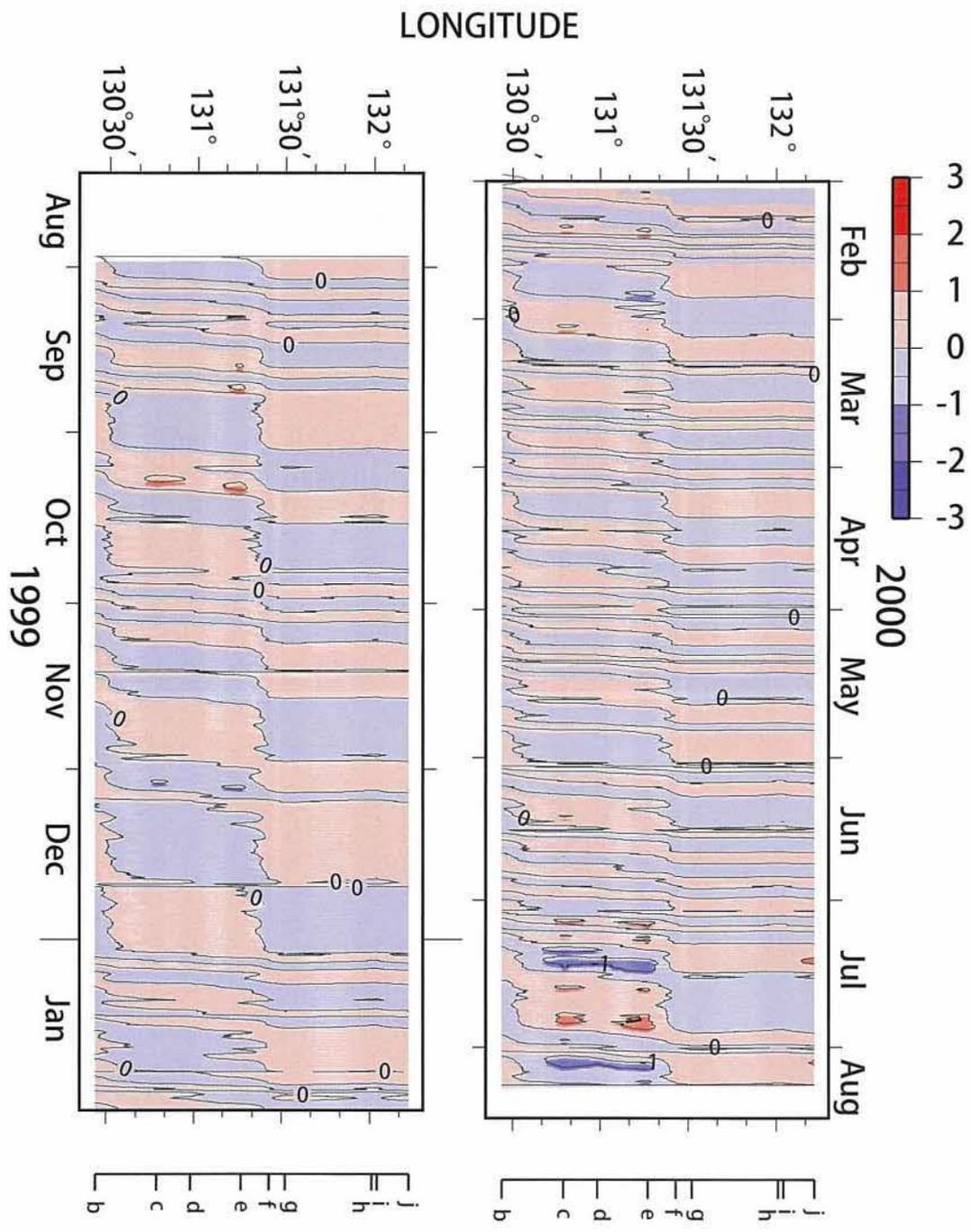


Fig. 2-12 Same as Fig. 2-11 but for CEOF second mode.

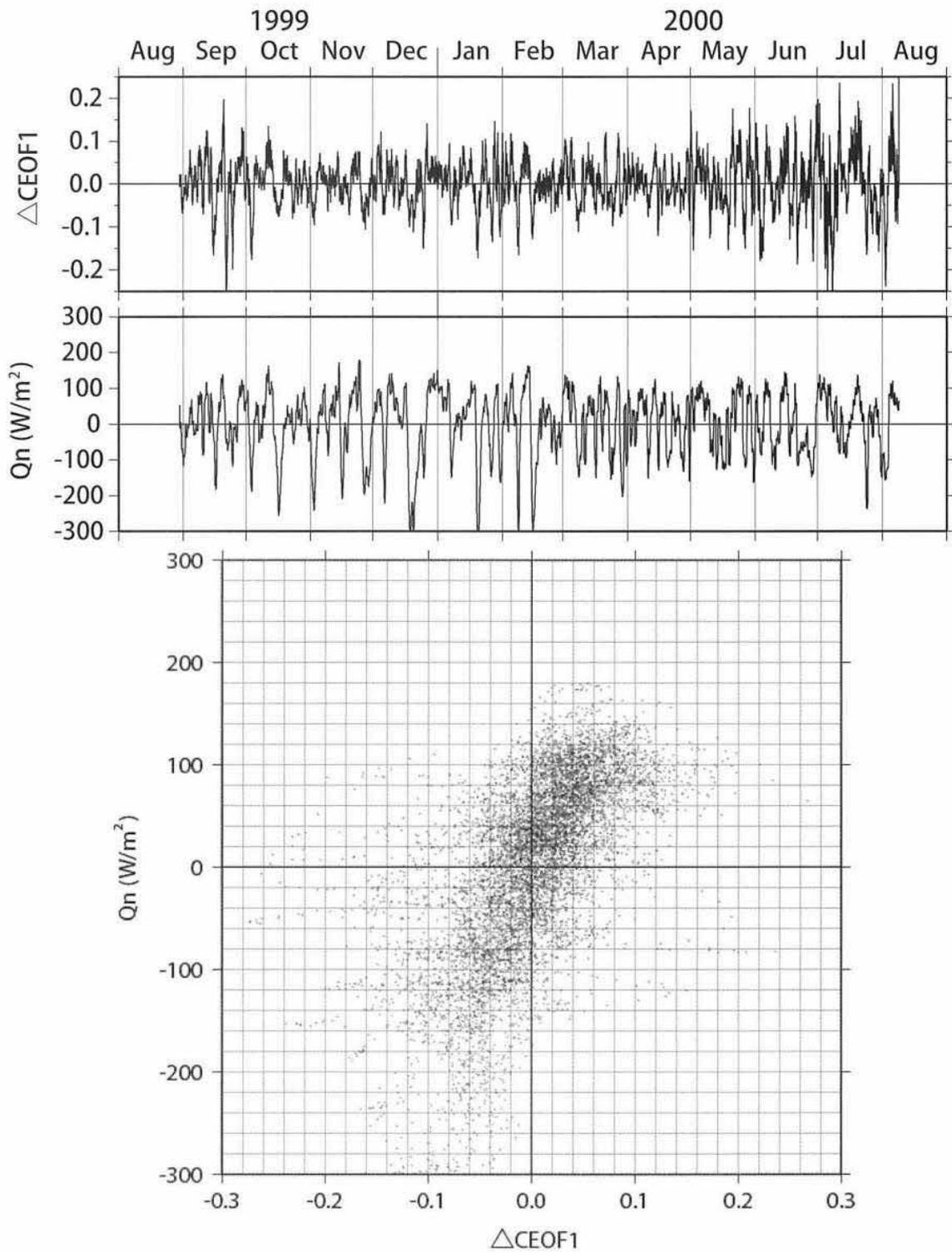


Fig. 2-13 Time series of differentiating CEOF first mode by time (upper panel) and Q_n (middle panel). Scatter diagram between differentiating CEOF first mode by time and Q_n (lower panel).

Table 2-3 Eigenvectors by combined EOF analysis.

Station	Mode1	Mode2	Mode3
(b) Tsuyazaki	-0.72	-0.20	-0.07
(c) Futaoi Island	-0.73	-0.28	0.36
(d) Kawajiri	-0.77	-0.27	0.19
(e) Kayoi	-0.75	-0.15	0.27
(f) Hagi-Ohshima Island	-0.79	-0.25	-0.11
(g) Utagoh	-0.86	-0.19	-0.18
(h) Hamada	-0.75	-0.14	-0.09
(i) Gohtsu	-0.76	-0.04	-0.32
(1) Izuhara	-0.20	0.56	0.61
(2) Hakata	-0.38	0.88	-0.06
(3) Susa	-0.42	0.87	-0.11
(4) Hamada	-0.42	0.87	-0.11
Eigenvalue	5.25	2.95	0.80
Proportion(%)	43.7	24.6	6.7
Cumulative proportion (%)	43.7	68.3	75.0

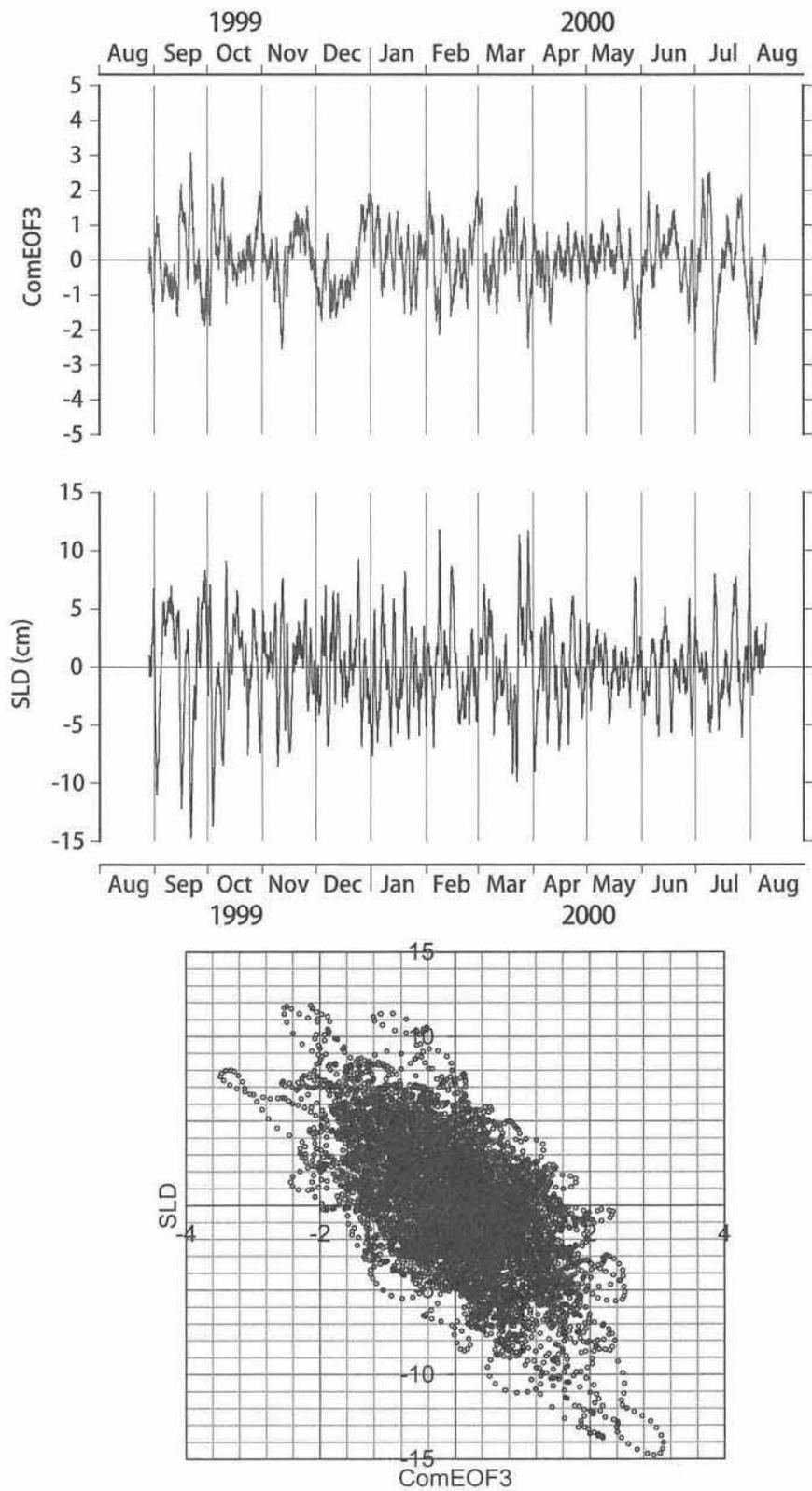


Fig. 2-14 Time series of Combined-EOF third mode (upper panel) and sea level difference of Hakata-Izuhara (middle panel). Scatter diagram between Combined-EOF third mode and SLD (lower panel).

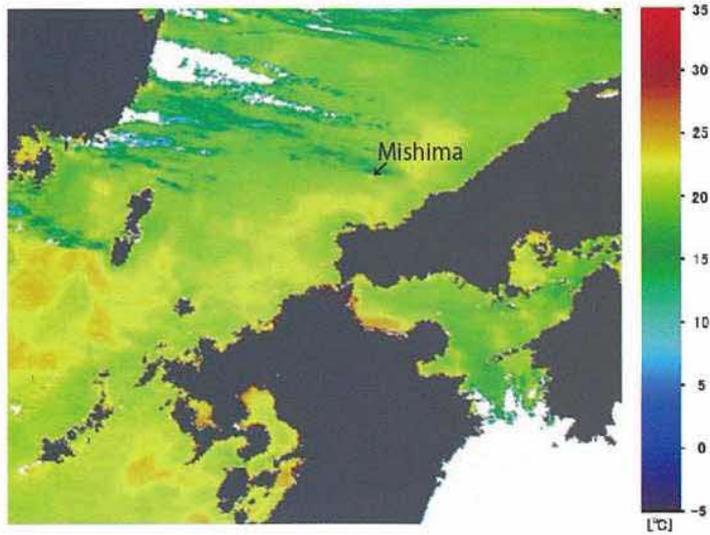


Fig. 2-15 MODIS-derived sea surface temperature on June 5, 2010.
 (http://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/adeos/modis_frame.cgi?year=2010&month=6&prov=eoc&type=1km)

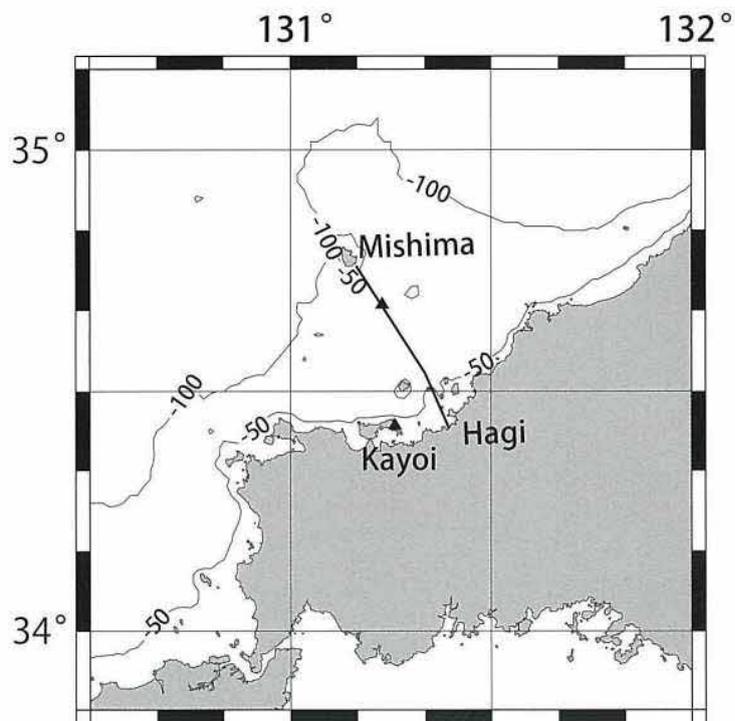


Fig. 2-16 Map showing the track of the ferryboat (thick solid line) and observation sites (two closed triangles). A coastal closed triangle is the Kayoi set net fishing ground observation point, the other one is the offshore observation point (34°41' N, 131°15' N) on the track.

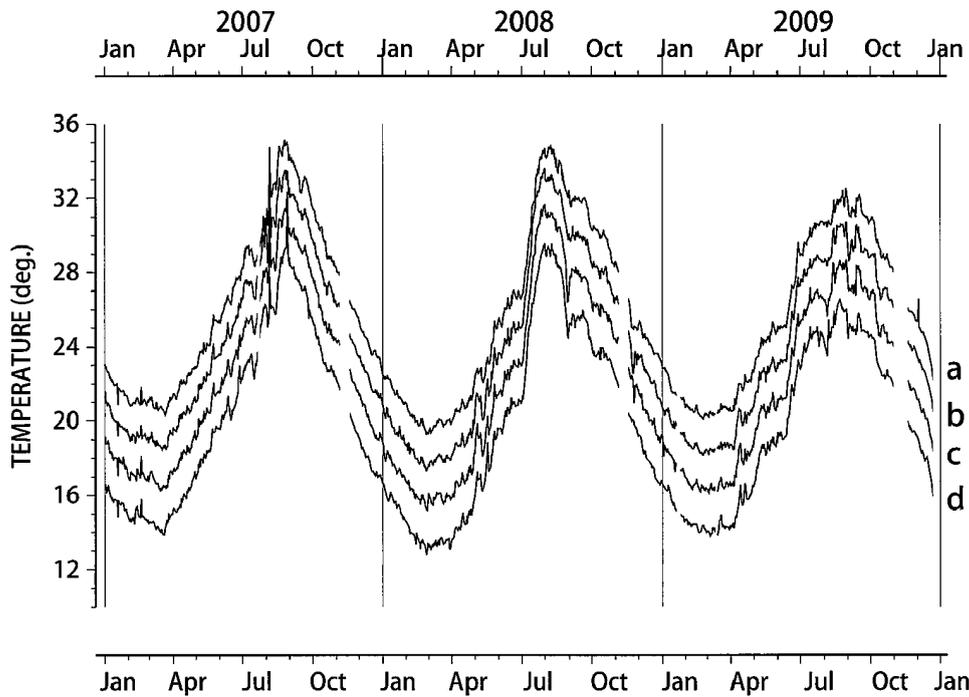


Fig. 2-17 Time series of SST from 34°30' N to 34°45' N at every five minutes in latitude during the period from January 2007 to December 2009. (a) 34°45' N, (b) 34°40' N, (c) 34°35' N, and (d) 34°30' N. Time series of (a), (b) and (c) are shifted higher temperature side by 2.0 °C in order.

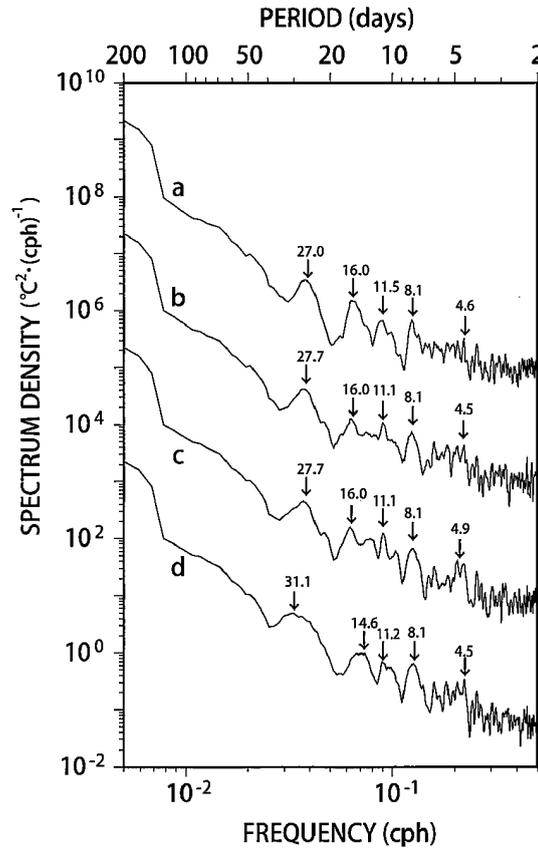


Fig. 2-18 Spectrum density diagrams at (a) 34°45' N, (b) 34°40' N, (c) 34°35' N, and (d) 34°30' N. Graphs (a), (b) and (c) are shifted higher spectrum density side by 10 (°C² · (cph)⁻¹) in order.

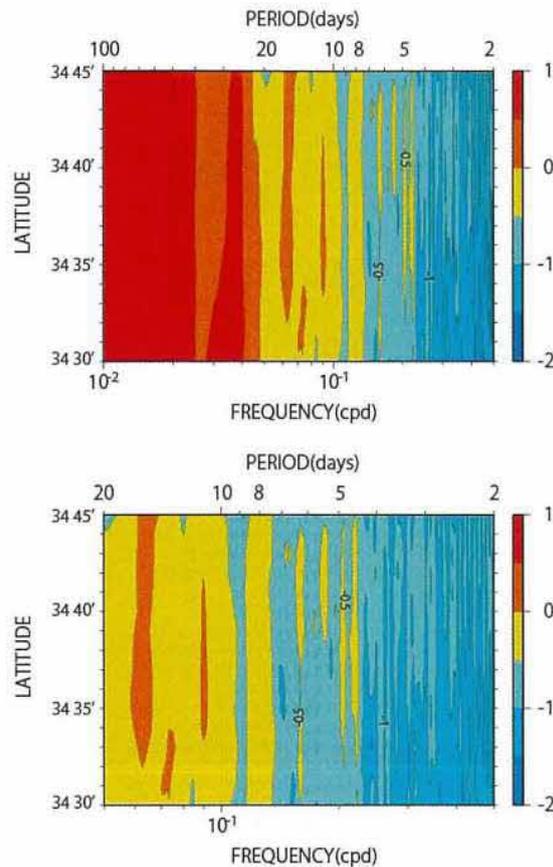


Fig. 2-19 Space-frequency (period) diagram of the spectrum density of SST between 34°30' N and 34°45' N during the period from January 2007 to December 2009. Lower panel is the enlarged diagram for 2-20 days period band in the upper panel. The values are expressed in terms of the common logarithm in scale. Contour interval is 0.5.

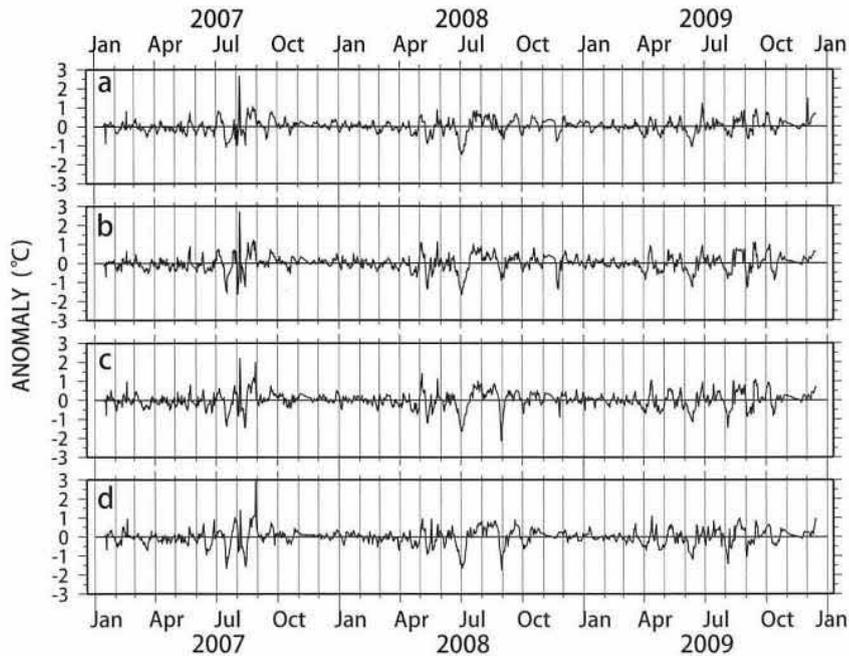


Fig. 2-20 Time series of high-pass filtered SST at (a) 34°45' N, (b) 34°40' N, (c) 34°35' N, and (d) 34°30' N.

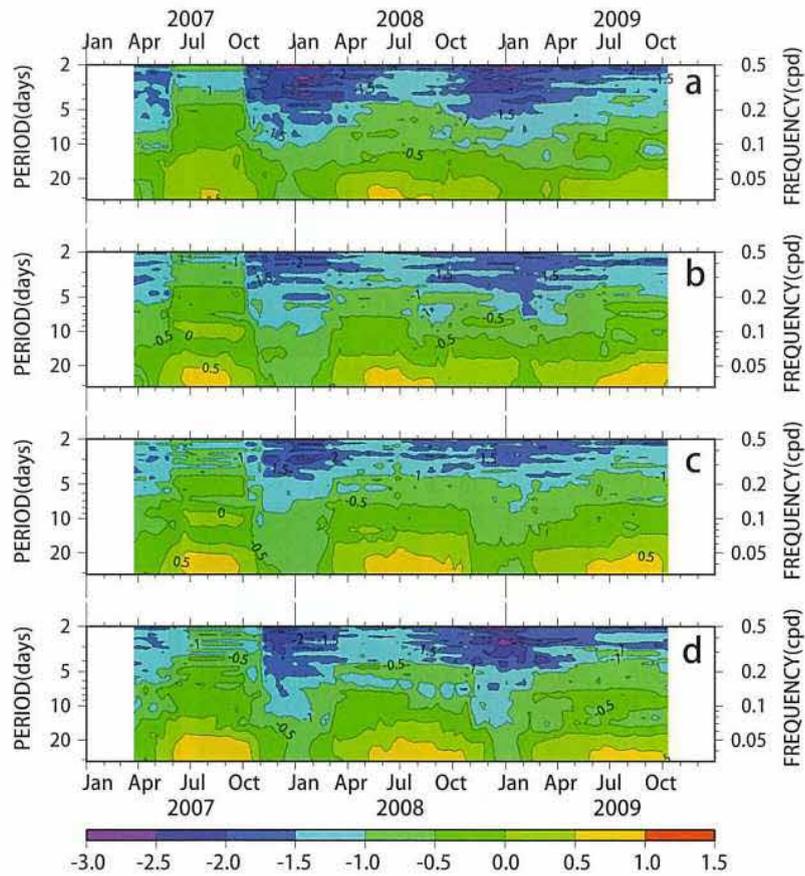


Fig. 2-21 Dynamic spectra diagram at (a) 34°45' N, (b) 34°40' N, (c) 34°35' N, and (d) 34°30' N. The values are expressed in terms of the common logarithm in scale. Contour interval is 0.5.

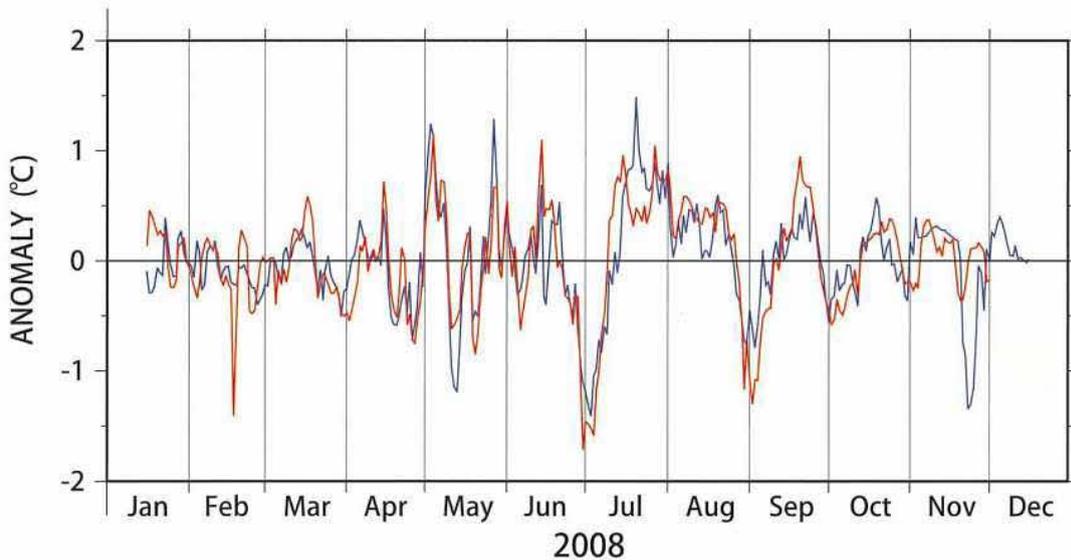


Fig. 2-22 Time series of high-pass filtered SST at offshore observation point, 34°41' N (blue) and Kayoi set net fishing ground (red).

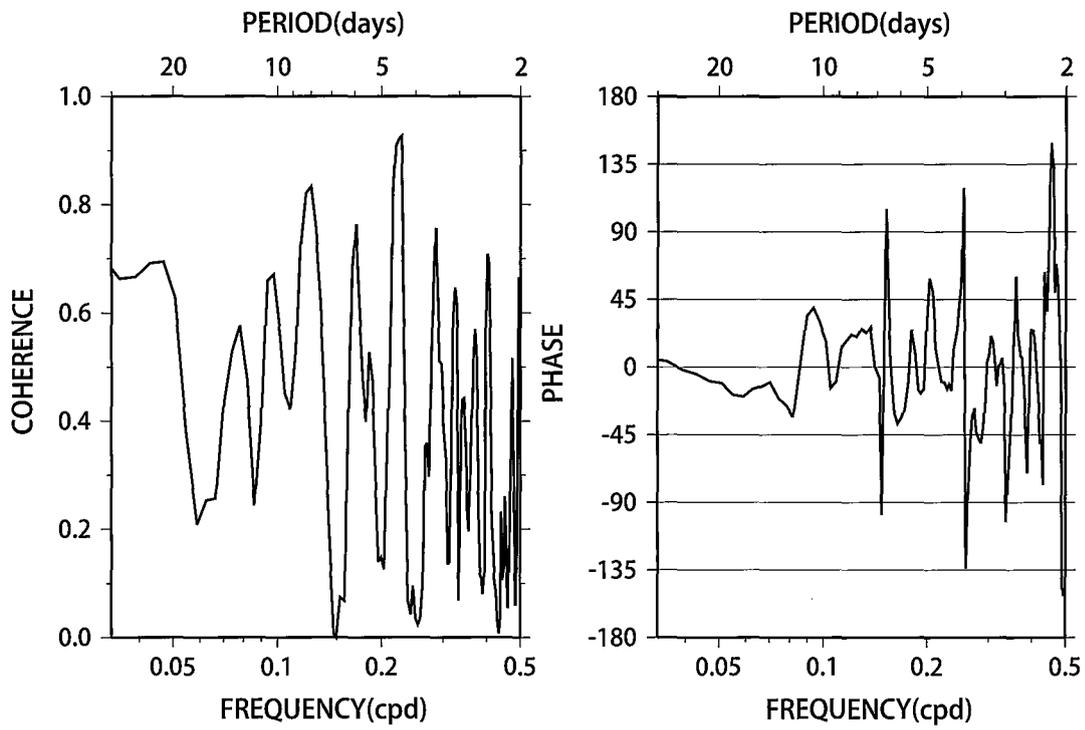


Fig. 2-23 Coherence-squared (left panel) and phase difference (right panel) between offshore observation point and Kayoi set net fishing ground.

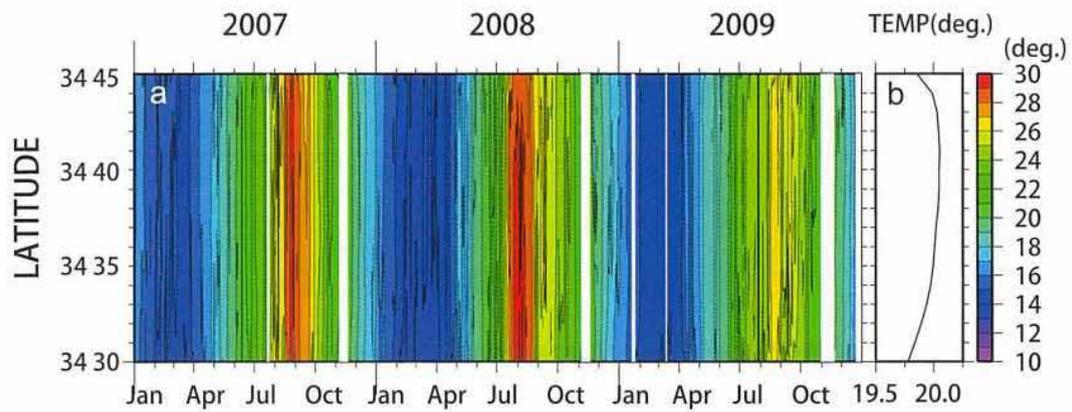


Fig. 2-24 (a) Space-time diagram of SST between 34°30' N and 34°45' N during the period from January 2007 to December 2009. Contour interval is 1 °C. (b) along track distribution of 3-year averaged SST.

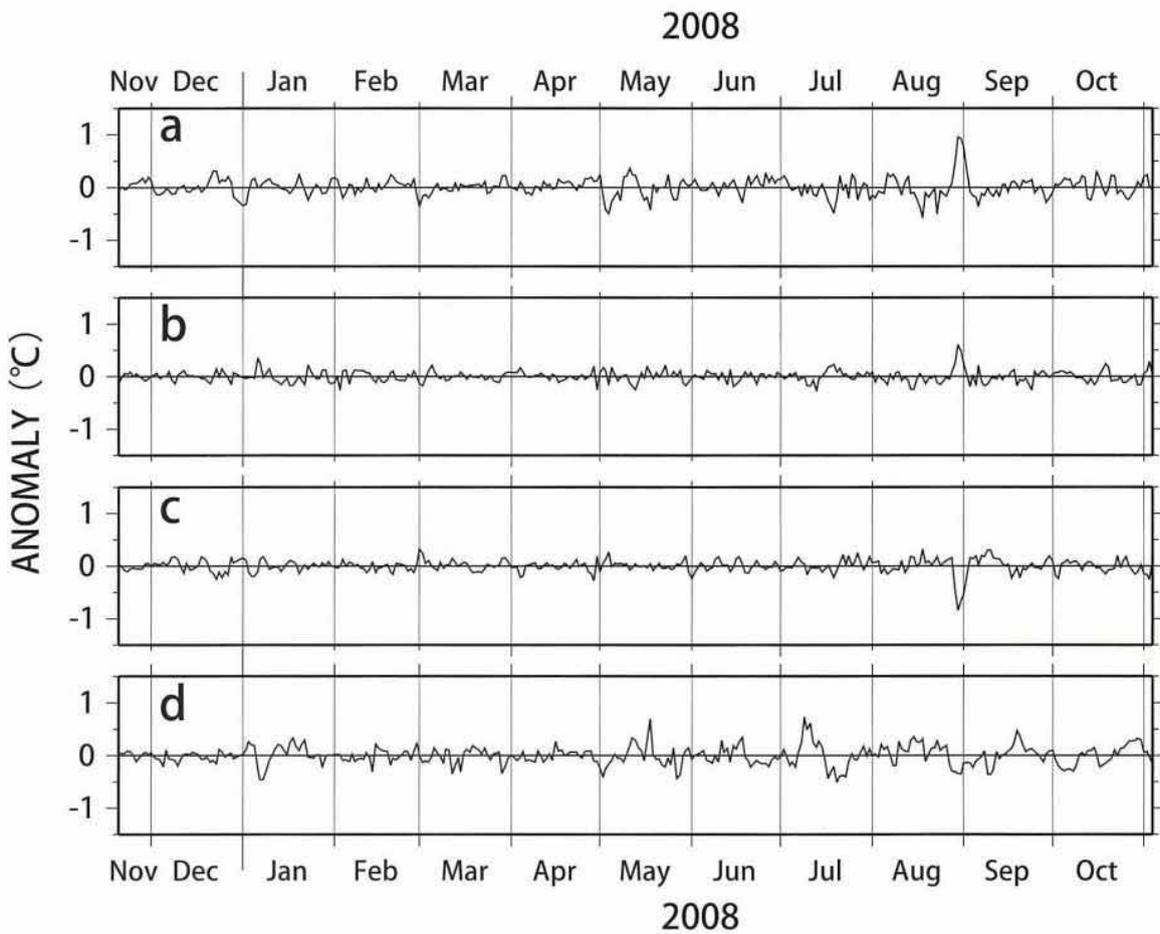


Fig. 2-25 Time series of high-pass filtered SST, after removal of along-track average. (a) 34°45' N, (b) 34°40' N, (c) 34°35' N and (d) 34°30' N.

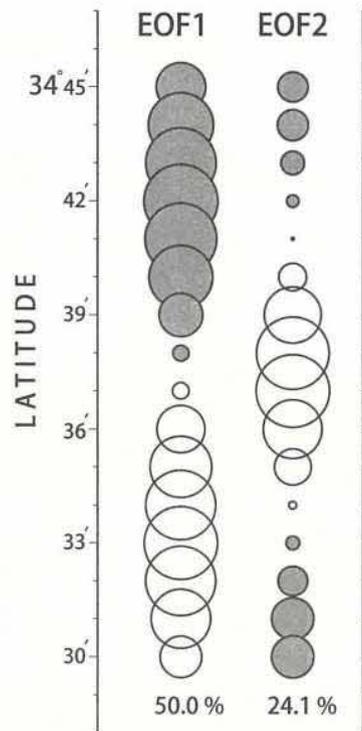


Fig. 2-26 Spatial distributions of the EOF1 and EOF2 eigenvector . The size of circles is proportional to the eigenvector values. Negative values are gray.

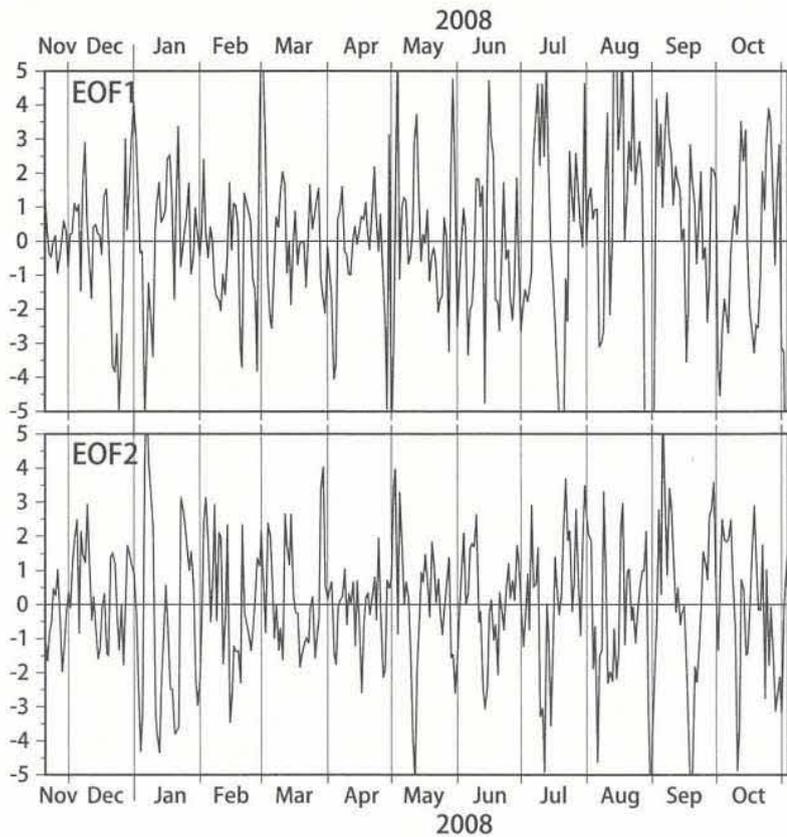


Fig. 2-27 Time series of temporal coefficients for EOF1 (upper panel) and EOF2 (lower panel) .

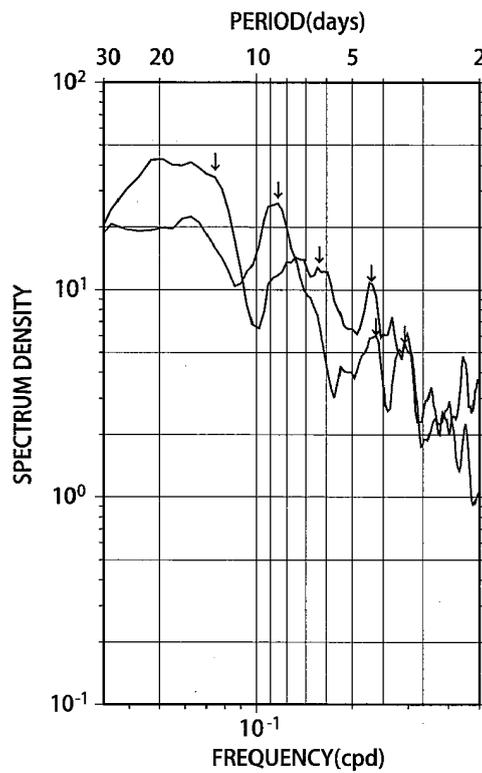


Fig. 2-28 Spectrum density diagrams for EOF1 (black) and EOF2 (gray).

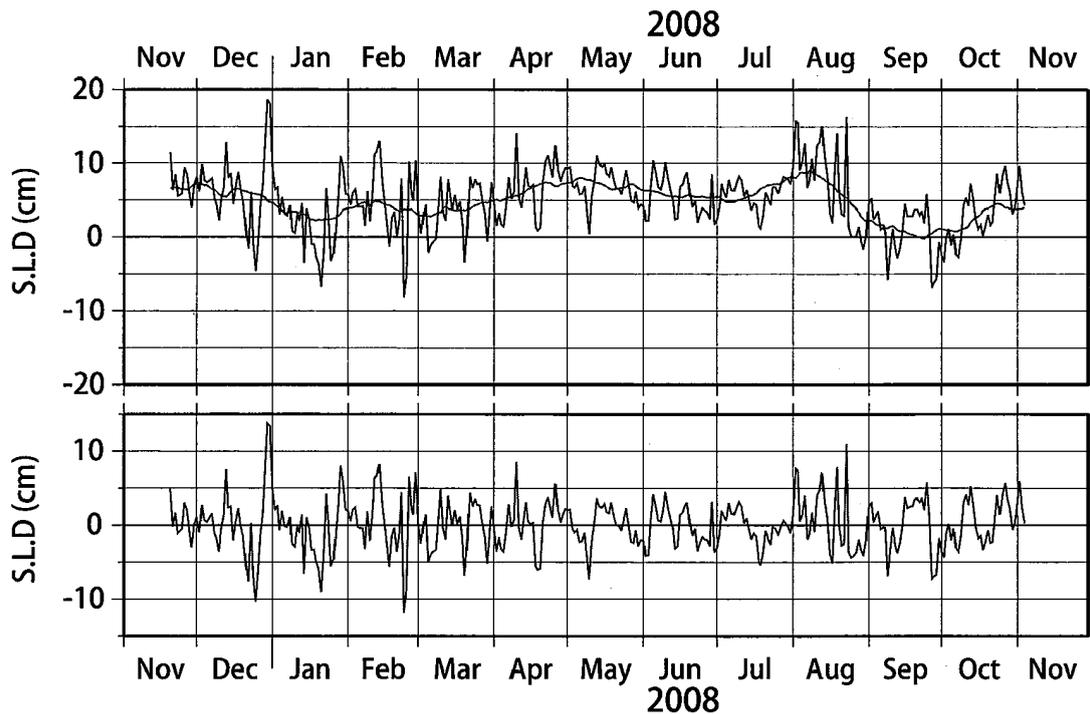


Fig. 2-29 Time series of sea-level differences (SLD) between Hakata and Izuhara. Upper panel shows daily SLD (thick) and low pass filtered (31-day running mean) SLD (thin). Lower panel shows high-pass filtered SLD.

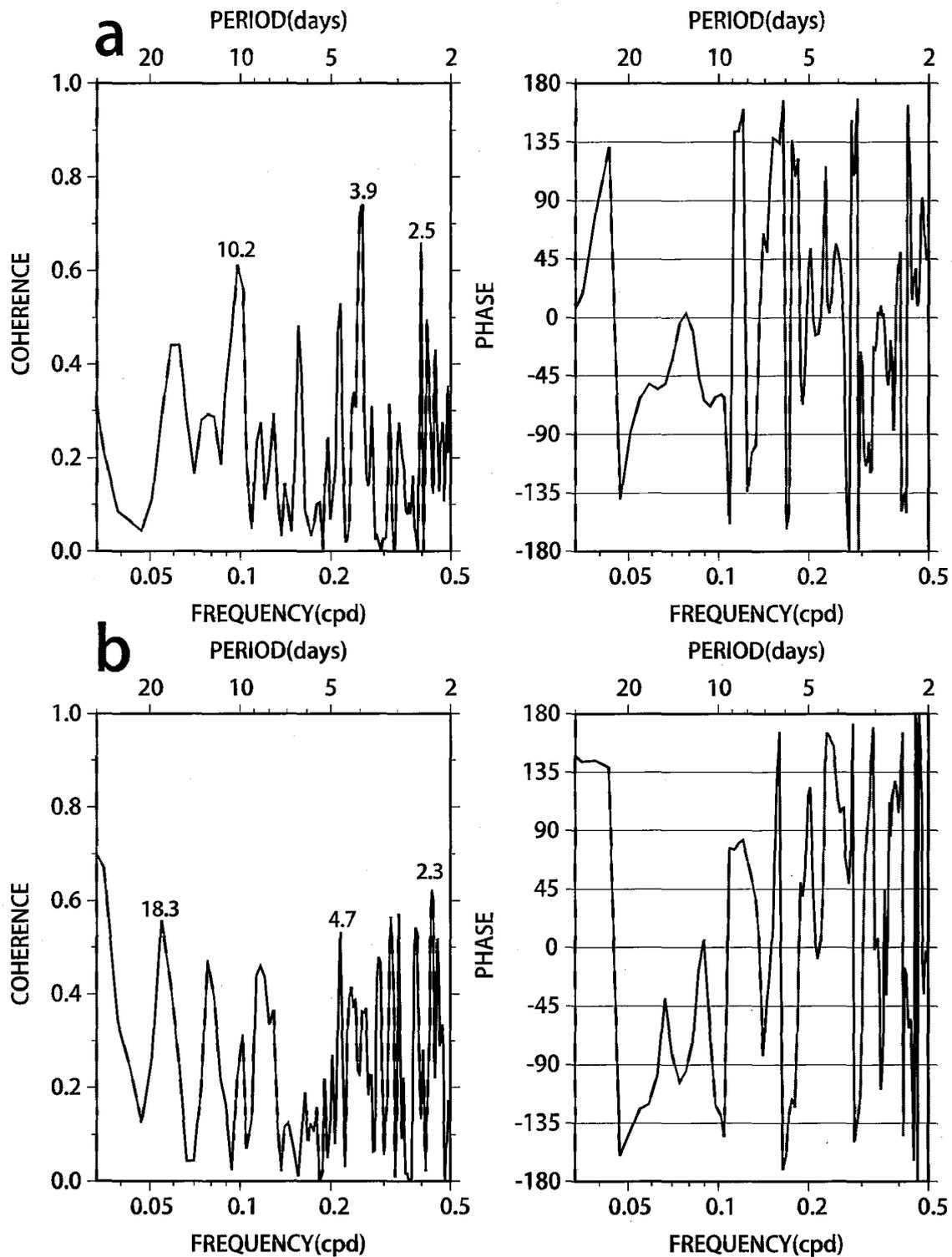


Fig. 2-30 Coherence-squared and phase difference between sea-level difference and EOF1 (a; upper panels), sea level difference and EOF2 (b; lower panels).

第3章 西部山陰沿岸水温の長期変動

3-1. 序論・背景

本章では、これまで議論してきた数日～数週間スケールの水温変動の背景となる長期的な水温変動について議論する。

近年、山口県周辺海域では、熱帯・亜熱帯性の生物種が頻繁に報告されている。例えば、山口県日本海産魚類目録（河野ら，2011）によると、1980年代に65件であった熱帯・亜熱帯性の魚類の確認件数が、1990年代には130件、2000年代には281件と飛躍的に増加している。この要因として地球温暖化や気候変動と関連した高水温化が推測されるが、山口県近海の海洋環境の長期変動を扱った報告は、Senjyu and Watanabe (2004) や Senjyu *et al.* (2010) を除くと極めて少ない。また Senjyu and Watanabe (2004) は1999年までの資料に基づく研究であるため、2000年代に入ってから熱帯・亜熱帯性生物の顕著な増加の検証のためには不十分である。

一方、Senjyu and Watanabe (2004) は山口県沖の旅客船（萩-見島間）による水温モニタリング資料に基づき、山口県沖の表層水温には十年スケール変動が存在することを示した。また、加藤ら (2006) は、日本海および対馬海峡における50 m深水温に、1980年以降、顕著な2回の水温上昇(1988/89年および1997/98年)が生じていることを報告しており、レジームシフトとの関連を議論している。さらに、このような海洋環境の変化に伴って、日本海における底魚類の漁獲量も同じような時間スケールで変化していることが指摘されている (Tian *et al.*, 2011)。

そこで本章では、萩-見島旅客船データ、および山口県による定線観測資料に基づき、これら長期変動の実態を明らかにする。

3-2. 萩-見島旅客船データにみられる長期変動

萩-見島旅客船による水温観測は1963年に開始され、2012年で50年の節目を迎えた。航路上の定点(34° 39' N, 131° 15' E; Fig. 3-1)で、1日に1回、1998年3月までは船上からバケツ採水で得た試料を水銀温度計によって測温していたが(バケツ採水法)、1998年4月の新船就航以後は、電気式水温計を機関冷却水の取込口に取付けて観測している(インテイク法)。観測方法の違いによって、測得する水温値に差異が生じるという研究もあるが (Emery and Thomson, 2001)、山口県

が漁業調査船で行ったバケツ採水による表面水温観測値と旅客船(インテイク法)による観測値との比較では、両者の間にバイアスはみられなかった。そこで本研究では、特別な水温値の補正は行わないこととする。1964～2010年の47年間に得られた日別資料から、旬ごとの平均値を求めたものを解析の基本データセットとした。

見島南方における表層水温の時系列をFig. 3-2に示す。明瞭な季節変化がみられるが、年最低水温に注目すると1990年代半ばから徐々に昇温する傾向が認められる。そこで外れ値による影響が少なく、長期トレンドの検出には最も頑健とされるMann-Kendall rank statistic (MK法)によりトレンドの検定を行った(松山・谷本, 2005)。見島南方表層水温についてMK法の検定統計量(τ)を求めたところ、正の値($\tau=0.054$)となり、有意水準1%($\tau_g=0.042$)で昇温傾向にあることがわかった。そこで、線形回帰分析により水温上昇の割合を見積もると、47年間で1.25°C ($0.026\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{year}^{-1}$)であった(Fig. 3-2)。

神崎・金丸(2007)は、壱岐水道および対馬海峡東水道における約50年間の資料を解析し、2月の水温が上昇傾向にあることを示した。また、対馬海峡両水道の水温変動を扱ったSenjyu *et al.* (2010)も、夏季よりも冬季の温暖化傾向の方が顕著であることを述べている。そこで、冬季(1～3月の平均値)と夏季(7～9月の平均値)について、MK法による検定を行った(Fig. 3-3)。検定統計量(τ)を求めたところ、冬季($\tau=0.436$)、夏季($\tau=0.068$)ともに正の値となり、昇温傾向にあることがわかったが、有意水準1%($\tau_g=0.198$)で統計的に有意なのは冬季であった。また、線形回帰分析により水温上昇率を求めたところ、冬季は $+0.036\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{year}^{-1}$ 、夏季は $+0.006\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{year}^{-1}$ となり、冬季の方が夏季よりも約6倍も大きいという結果が得られた。以上より、山口県北西沖海域の表層水温には昇温傾向があり、その傾向は特に冬季に顕著であることがわかる。

より詳細な水温変動の様子を調べるために、47年間の累年旬平均値からの偏差を求め、タイムプロットを作成した(Fig. 3-4)。概観すると1970年代半ばから1980年代半ばの秋季(10～12月)から冬季(1～3月)には負偏差、1980年代後半～1990年代半ばの冬季には正偏差が現れており、さらに1990年代半ば以降

は、夏季（7～9月）の一部を除くほぼ全季節で正偏差となる傾向がみられる。このような長期的な水温変動は、およそ10年ごとに生じている。そこでこのスケールの変動を詳しくみるために、基本データに7年間の移動平均を施した水温の時系列をFig. 3-5aに示す。全体的な昇温傾向に加えて十年程度の変動が認められ、特に1980年代半ばと、1990年代半ばに、水温が急上昇している様子がわかる。

そこでFig. 3-5aの水温時系列について、ラページ検定による不連続の検出を行った。ラページ検定は、ステップ状の不連続的な変化の遷移期を調べるのに有効な手段である（Yonetani, 1993）。前後7年間でラページ検定統計量（HK）を求め、その時系列を示したのがFig. 3-5bである。有意水準5%を超えるHKのピークが、1986年10月下旬および1998年4月上旬に現れている。このことから、山口県北西沖海域の表層水温は、1986年および1998年に不連続的に上昇していたと判断される。この遷移期は、加藤ら（2006）の示した顕著な水温上昇（1988/89年および1997/98年）にほぼ対応している。

3-3. 定線観測データにみられる長期変動

本節では、見島南方の表層水温にみられた昇温トレンドや十年スケール変動が、より深い深度においても認められるかどうかを、各層観測データに基づいて検討する。山口県では漁業調査船による日本海南西海域における定期海洋観測を1964年からほぼ毎月実施している（Fig. 3-6）。しかし、観測点の位置を数年ごとに見直ししていることに加え、欠測等のため観測回数の少ない月もある。そこで、観測点の移動のないこと、欠測の少ない月であることを条件にデータを絞り込み、川尻岬北西沖の観測点（Sta. 1～5）における3月（冬季）、5月（春季）、8月（夏季）、11月（秋季）の水温データを抽出した。観測深度は、基準層（0, 10, 20, 30, 50, 75, 100 m）である。なお、Sta. 5の位置は日韓漁業協定が締結された1998年以降、約6 km南東方向に移動しているが、それに伴う補正は行っていない。

川尻岬北西沖線を代表する観測点としてSta. 3を選び、0, 10, 50, 100 m深の水温時系列を示したのがFig. 3-7である。Katoh（1994）によれば、この点是对馬海流沿岸分枝の流軸に相当するとされている。各層とも深さとともに昇温率は小さくなるが、見島南方

と類似した右肩上がりの昇温トレンドを示している。しかし、MK法によりトレンドの検定を行ったところ、いずれも有意水準5%での有意性は認められなかった。

そこで、季節ごとに各層で昇温率を求め、その空間分布を調べた（Fig. 3-8）。なお、作図にあたり昇温率を 10^2 倍している。冬季は、Sta. 1～3の表層を除く断面全域で $2 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{year}^{-1}$ 以上の昇温率を示しており、四季の中で最も大きな水温上昇を示している。空間的には沖合（Sta. 3'～5）の方が沿岸（Sta. 1～3）よりも大きな昇温率を示している。春季と秋季も断面全域で正值を示しており、海面から海底まで水柱全体が昇温傾向にあることがわかる。またSta. 4'で特に大きな昇温率が現れている。これに対して夏季は、Sta. 3'の25 m深から沖合側（Sta. 5）に負の領域がみられ、特にSta. 4'の水深25～50 mで値が小さくなっている。以上より、夏季の沖合域を除いて、川尻岬北西沖断面全域で水温が上昇傾向にあることがわかる。

次に十年スケール変動について検討する。Sta. 3における各深度の年平均水温と、その7年間移動平均値の水温時系列をFig. 3-9に示す。0 m, 10 m深では1990年代半ばに、50 m, 100 m深では1980年代半ばに比較的大きな昇温が認められ、見島南方と類似した十年スケールの変動が現れている。

そこで、見島南方で認められた水温ジャンプに基づき、解析資料を3期間（期間1: 1977～1986年, 期間2: 1987～1997年, 期間3: 1998～2010年）に分け、それぞれの期間で季節ごとの平均場を求めた（Fig. 3-10）。各期間とも、冬季は海面冷却による鉛直混合のため、空間的にほぼ一樣な水温構造を示しているが、春季になると徐々に成層が発達し、夏季に最も強くなる。そして、秋季になると再び鉛直混合が表層から始まり、成層は徐々に弱くなるという季節変化を示している。

3期間の違いを示すため、期間2と期間1の水温差（ ΔT_{2-1} ）および期間3と期間2の水温差（ ΔT_{3-2} ）の断面図を作成した（Figs. 3-11a, 3-11b）。例えば、 ΔT_{2-1} が正であれば、期間1から期間2の間での水温上昇、負であれば水温下降があったことを示す。また、水温差の有意性を検討するため、各測点・各層についてt検定を行った。期間1と期間2（ ΔT_{2-1} 断面, Fig. 3-11a）については、冬季の断面の広い領域で $+0.8 \text{ } ^\circ\text{C}$ 以上の値が現れている。この水温差は、ほとんどの領域で有意水

準 5 %で有意であることから、断面全域が期間 1 と期間 2 との間で有意に昇温したことを示している。春季も断面のほぼ全域で正值となり、断面中央部 (Sta. 3~4) および最も沖合の Sta. 5 の +0.4 °C 以上の領域で有意であった。これに対して、夏季と秋季には負の値が現れているが、夏季の表層 (Sta. 1 の 0 m, Sta. 2 の 10 m, Sta. 3 の 0 m, Sta. 4 の 10 m, および Sta. 5 の 10 m) を除いて統計的に有意でない。一方、期間 2 と期間 3 (ΔT_{3-2} 断面, Fig. 3-11b) では、秋季にほぼ全域で +0.4 ~ 0.8 °C の正值が現れ、統計的にも一部 (Sta. 3) を除き有意であった。また、春季には沖合 (Sta. 4~4') の +0.4~0.6 °C の領域で有意、夏季には沿岸 (Sta. 1~3) の海面から 25 m 深における +0.8 °C 以上の領域で有意であった。

以上より、期間 1 から期間 2 は冬季および春季の水温上昇、期間 2 から期間 3 は主に秋季の水温上昇によって、十年スケール変動が特徴づけられることがわかった。

3-4. 考察

見島南方の表層水温には長期的な昇温傾向が認められ (Figs. 3-2, 3-3), 川尻岬北西沖でも夏季を除くすべての季節で水柱全体が暖かくなっていることが示された (Figs. 3-7, 3-8)。また、これらの昇温トレンドは、夏季よりも冬季の方が大きいという季節依存性がみられた。

気象庁の海洋の健康診断表 (2013) によると、日本海南部の水温上昇は 1.24 ± 0.37 ($^{\circ}\text{C} \cdot 100\text{year}^{-1}$) とされているが、本研究で示された見島南方の表層水温の上昇率は 1.25 ($^{\circ}\text{C} \cdot 47\text{year}^{-1}$) と、気象庁の値の約 2 倍であった。解析期間が異なるため一概に比較はできないが、山口県沖合での水温上昇は日本海の中でも大きいのかもしれない。

一方、見島南方の表層水温には、1986 年および 1998 年に不連続的な上昇 (水温ジャンプ) が認められた (Fig. 3-5)。最初的水温ジャンプ (1986 年 10 月下旬) は、Fig. 3-4 では冬季の高温化の目立ち始める時期 (1980 年代後半) に対応する。この変化は、川尻岬北西沖の ΔT_{2-1} 断面においては、冬季水温の有意な上昇という形で現れている (Fig. 3-11a)。これに対して 2 回目の水温ジャンプ (1998 年 4 月上旬) は、Fig. 3-5 では夏季以外の季節で高温化が始まる時期 (1990 年代後半) と一致している。川尻岬北西沖の ΔT_{3-2} 断面 (Fig.

3-11b) でも、秋季~春季水温の上昇として現れているが、冬季と春季の変化は統計的に有意でないことから、1 回目の水温ジャンプほど大きな変化にならなかったと考えられる。冬季の海面から海底に至る十年スケールの昇温現象は、対馬海峡においても報告されていることから (Senjyu. *et al.*, 2010), 少なくとも対馬海峡から日本海南西域までの海域で生じていたと考えられる。

十年スケールの水温変動は北太平洋の広い海域において認められ、北太平洋十年規模変動 (Pacific Decadal Oscillation; PDO) として知られている (Mantua and Hare, 2002)。PDO の強弱は PDO Index (PDOI) によって記述され、PDOI が正のときには西部北太平洋の海面水温が低くなり、逆に負のときには高温となる。そこで、線形トレンド除いた見島南方水温の 7 年移動平均値と PDOI の 7 年移動平均値を比較した (Fig. 3-12)。両者は逆位相で変動しており、相関係数も -0.83 と高いことから、見島南方の十年スケール変動は、北太平洋規模の変動が日本海南西部海域に現れたものと考えられる。

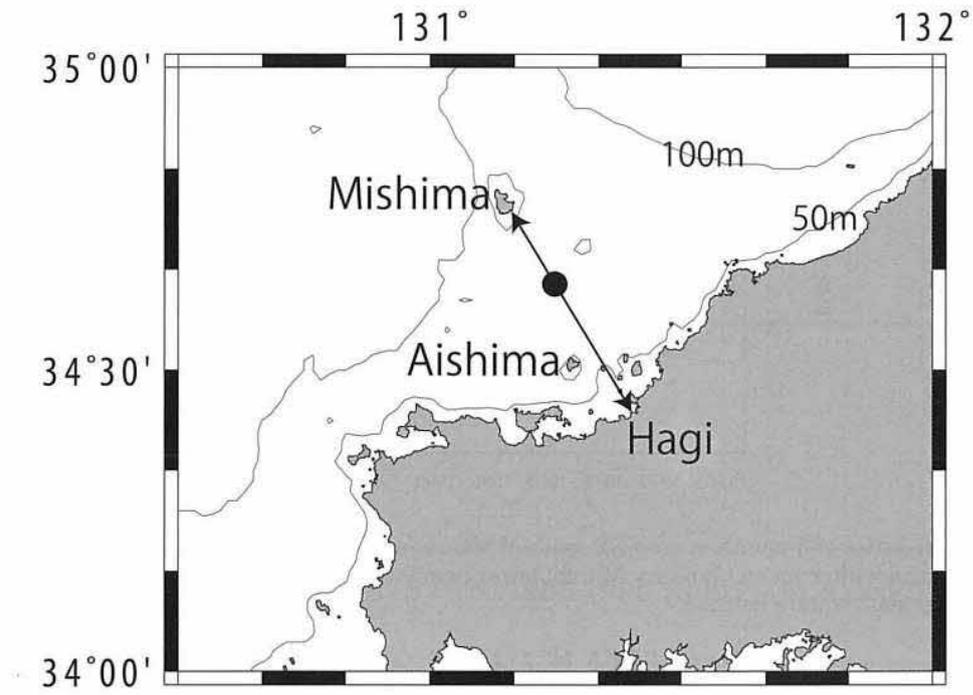


Fig. 3-1 Closed circle and solid line with arrow show the observation point (34°39' N, 131°15' E) and route of ferryboat, respectively. Contour lines show bottom topography at 50 m intervals.

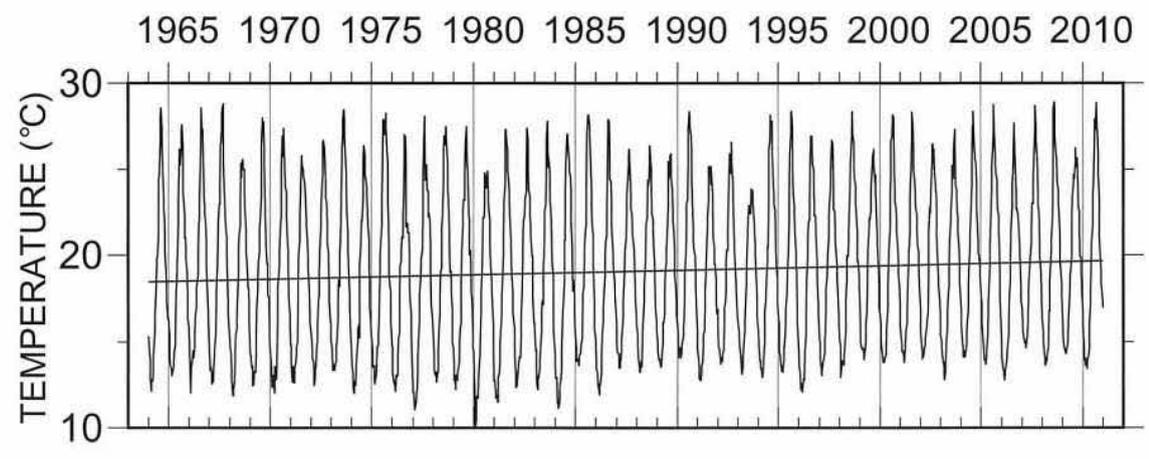


Fig. 3-2 Time series of 10-day mean SST south of Mishima Island. Bold straight line shows the linear trend determined by least square method.

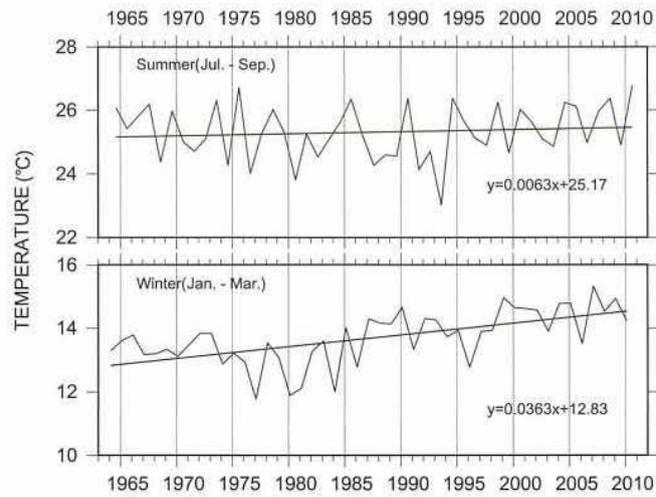


Fig. 3-3 Time series of 3-month mean SST south of Mishima Island, summer-mean (July-September, upper panel) and winter-mean (January-March, lower panel). Bold straight line shows the linear trend determined by least square method.

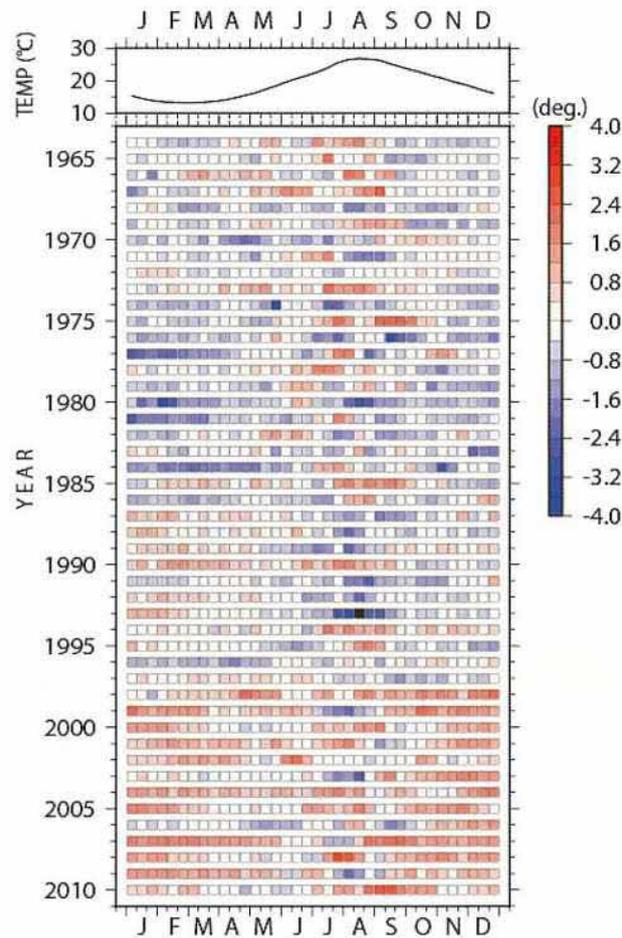


Fig. 3-4 Time series of climatological 10-day mean SST south of Mishima Island (upper panel). Tile-plot of SST anomaly from the climatological 10-day mean SST (lower panel).

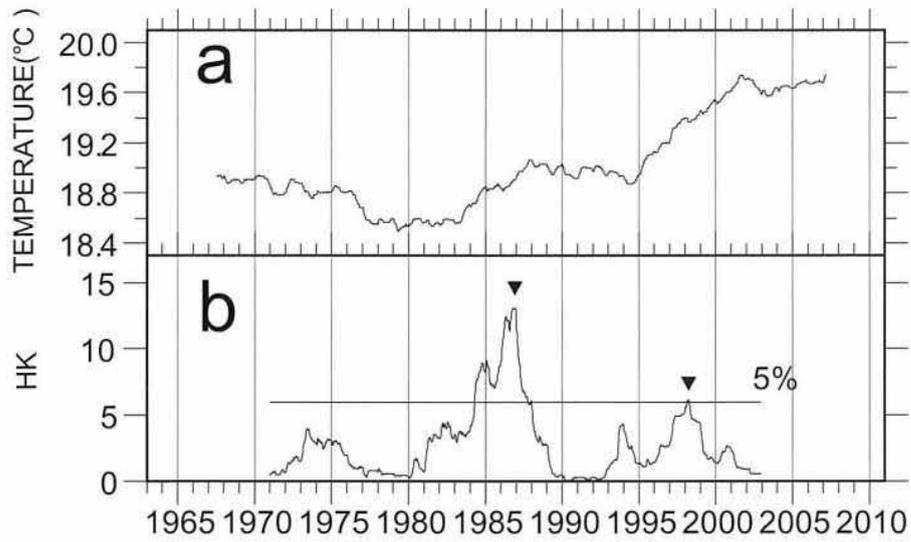


Fig. 3-5 Time series of low-pass filtered (7-year running mean) SST (a) and lepage statistic (HK) (b). Horizontal line and solid triangles in (b) denote the 5 % level of significance and significant peaks of HK, respectively.

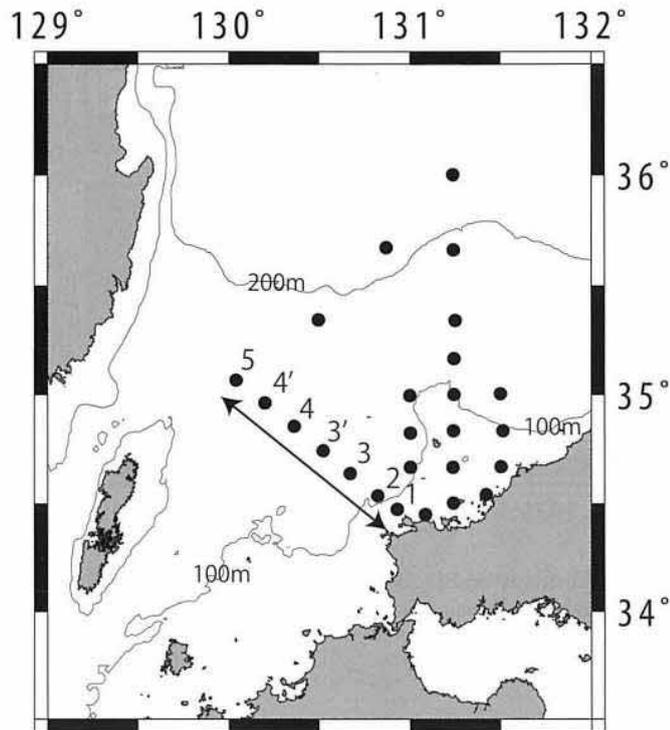


Fig. 3-6 Study area. Closed circles show observation points by the Yamaguchi Prefectural Fisheries Research Center. Contour lines show bottom topography at 100 m intervals.

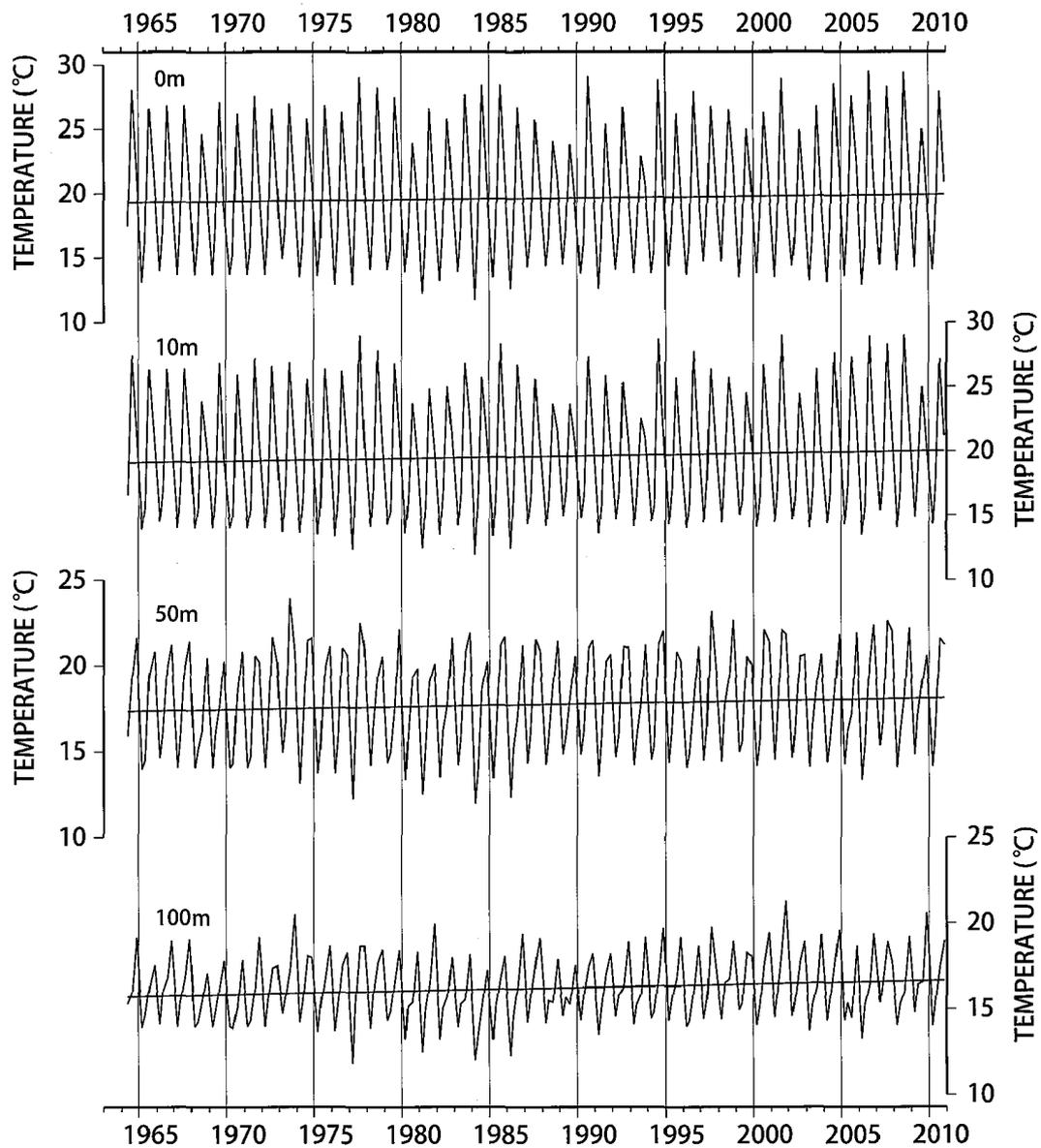


Fig. 3-7 Time series of temperature at Sta. 3 for 0 m (top panel), 10 m (2nd panel), 50 m (3rd panel), and 100 m (bottom panel). Straight lines show the linear trend determined by least square method.

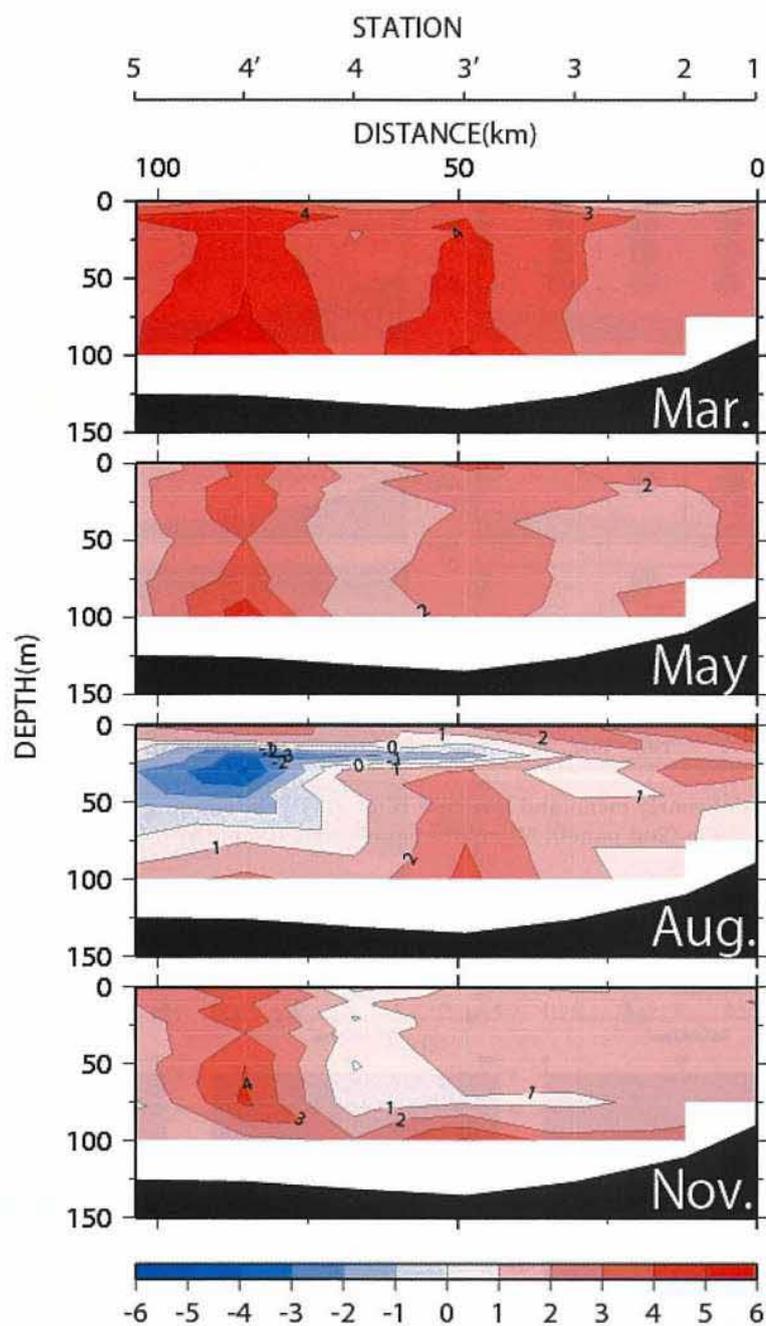


Fig. 3-8 Sectional distributions of the linear trends in temperature in March (Winter), May (Spring), August (Summer), and November (Autumn). Positive values indicate increase of water temperature. Contour interval is $1.0 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{year}^{-1}$.

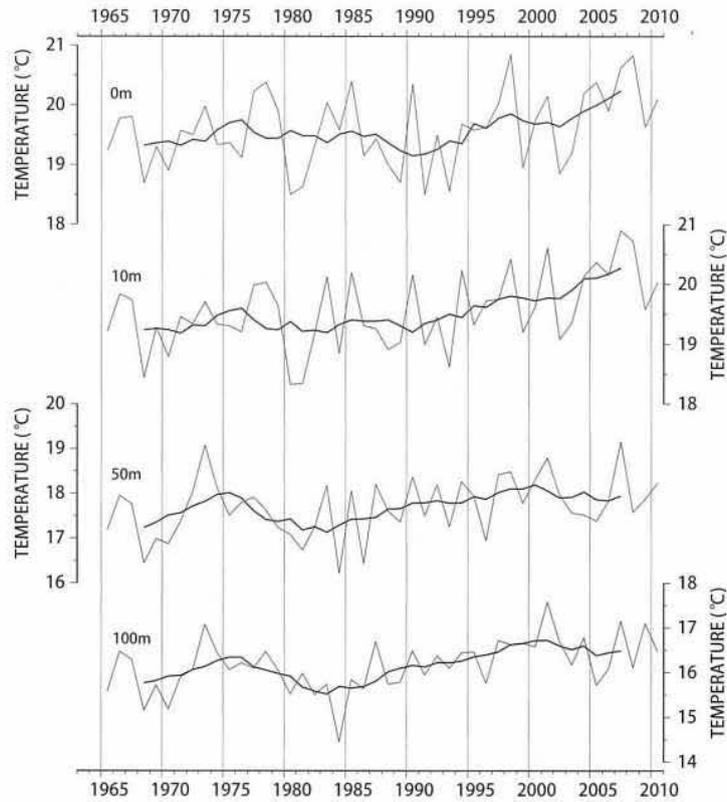


Fig. 3-9 Time series of yearly mean and low-pass filtered (7-year running mean) temperature at Sta. 3 for 0 m (top panel), 10 m (2nd panel), 50 m (3rd panel), and 100 m (bottom panel). Bold lines show the low-pass filtered temperature.

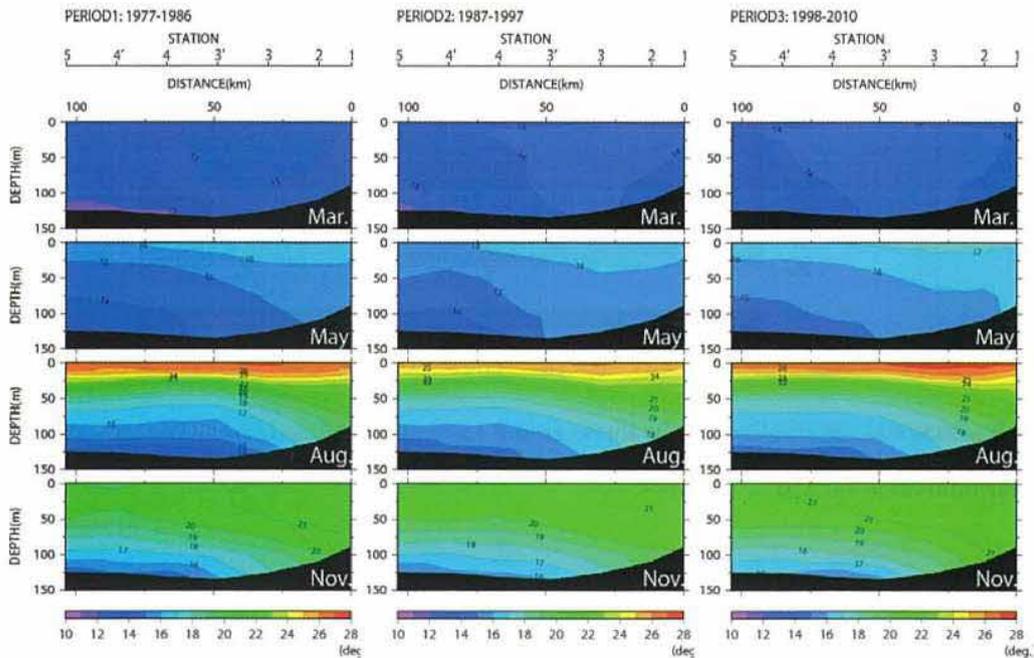


Fig. 3-10 Sections of monthly mean temperature in March (Winter), May (Spring), August (Summer), and November (Autumn) during the period 1 (1977-1986; left), period 2 (1987-1997; middle), and period 3 (1998-2010; right). Contour intervals are 1.0 °C.

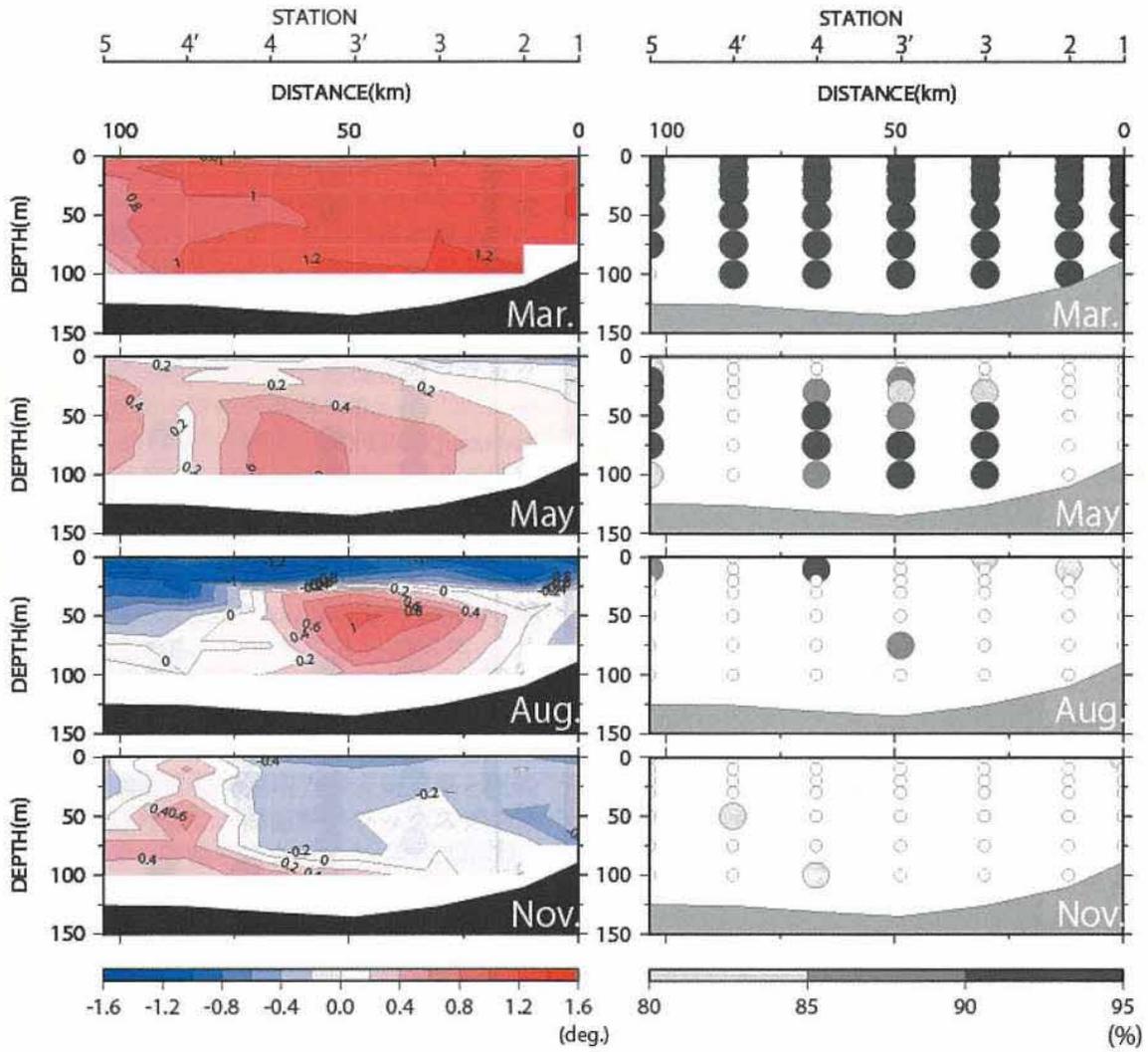


Fig. 3-11a Sectional distributions of ΔT_{2-1} (temperature difference of period 2 minus period 1 in Fig. 3-10, left panels) and statistical significance of ΔT_{2-1} (right panels). Significant levels greater than 80 % are indicated by gray scale in large circles (right panels).

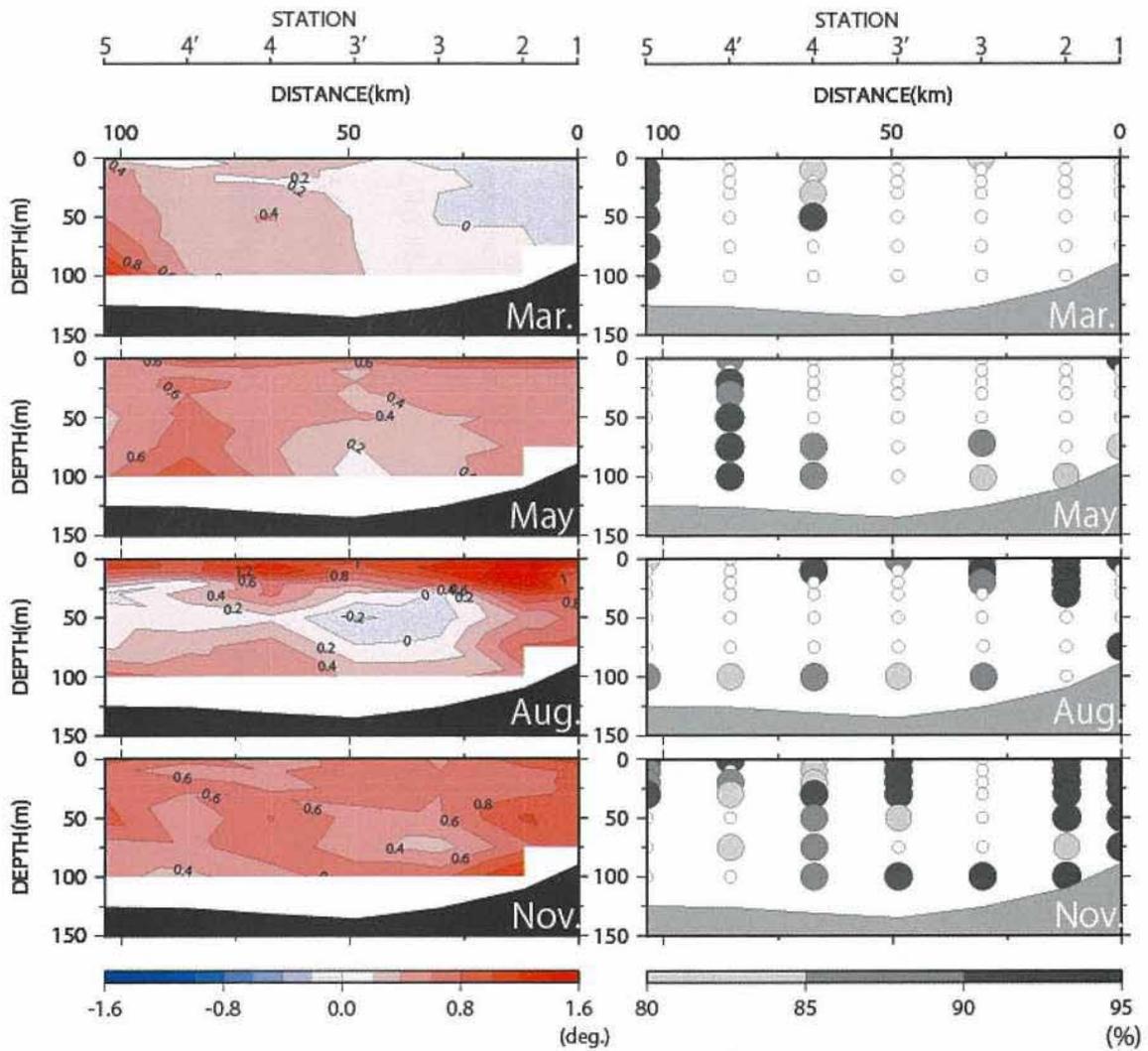


Fig. 3-11b Same as Fig. 3-11a except for ΔT_{3-2} (period 3 minus period 2 in Fig. 3-10) .

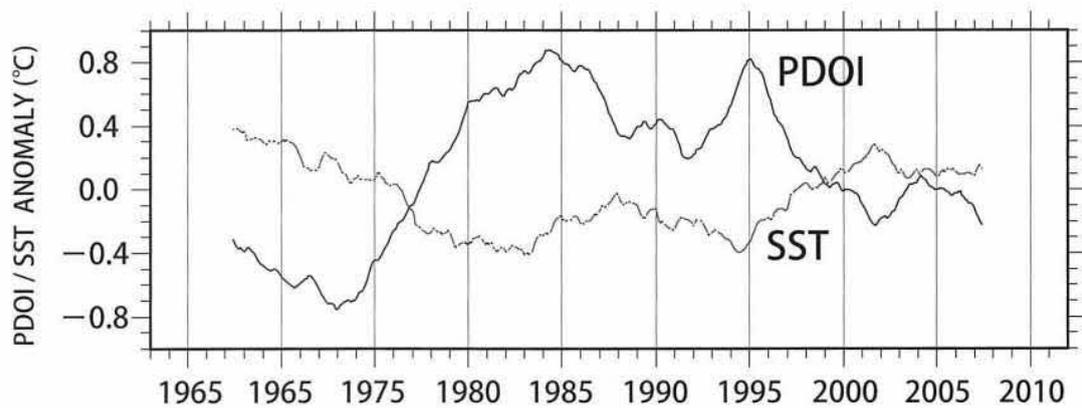


Fig. 3-12 Time series of detrended low-pass filtered (7-year running mean) SST south of Mishima Island and PDOI.

第4章 総合考察

第2章の解析結果から、西部山陰沿岸における数日～数週間スケールの表層水温変動には、海面熱フラックスが大きく寄与していることが示された。一方、長期変動に関しては、温暖化トレンドや北太平洋規模の十年スケール変動が確認されたが、それが日本海上空の大気変動に起因するのか、あるいは北太平洋の変動が移流によって西部山陰沿岸まで伝播してきたものなのかは明らかではない。ここでは、西部山陰沖合における海面熱フラックスの長期変動の寄与を検討する。

解析に用いたデータは、J-OFURO (Japanese Ocean Flux Data sets with Use of Remote Sensing Observations) の Net Heat Flux データである (Tomita *et al.*, 2010)。J-OFURO の公式ウェブサイトである

<http://dtsv.scc.u-tokai.ac.jp//j-ofuro/Index.html> から、1988年1月～2008年12月の月平均データを抽出し、さらに九州北部から西部山陰に至る海域 (33°～36° N, 129°～132° E) の空間平均値を算出した。そして第3章で議論した見島南方の表層水温と比較することを考慮し、海面熱フラックスデータにも7年間の移動平均を施した。

海面熱フラックスとトレンドを除去した見島南方水温の時系列を Fig. 4-1 に示す。海面熱フラックスは 1996～1997 年を境に平均値を上回っており、ほぼそれに同期するように水温も正偏差を示していることが注目される。両者の間には有意な正の相関 ($r = +0.86$) が認められることから (Fig. 4-1 下段)、見島南方の表層水温の十年スケール変動にも、その上空の大気変動が少なからず寄与していた可能性がある。ただし、第3章で示したように、十年スケール変動は海面のみならず亜表層の水温にも認められ、海面熱フラックスのみでは説明がつかない部分もある。両者の間の定量的な議論は今後の課題としたいが、西部山陰沿岸の水温変動を考える上で、海面熱フラックスの正確な理解が一つの鍵であると言えそうである。

第3章の結果から、西部山陰沿岸の水温には昇温トレンドに加えて、十年スケール変動が存在し、その変動は亜表層にまで及んでいることが示された。そして、これらの変動は特に冬季に強く現れており、海面から海底付近にまで及んでいた。小林ら (2006) によると、山口県日本海沿岸で発見される熱帯・亜熱帯性生物には、魚類のみならず、ヒトデ類やシャコ類、貝類などの底生生物が含まれている。遊泳能力の低いこれら底生生物の頻繁な出現は、海流変動などによる一時的な回遊 (死滅回遊) によっては説明が難しいことから、温暖化にともない生息域を北上させている可能性がある。そして、これら生物種の山口県・島根県沿岸域への補給・輸送過程には、第2章で示唆した対馬海流の変動が関与している可能性が高い。外来種の侵入は、従来の生態系を乱す要因となりかねないことから、今後もこれら生物種の動向に注目してゆくとともに、その補給・輸送過程を調査する必要がある。

最後に、本研究では、対馬海峡東水道の通過流量が相対的に小さいとき (表層流速が弱いとき) に見島南方に暖水が流れ込む、という仮説を提案したが、その力学的メカニズムの解明には至らなかった。船舶観測や係留観測を継続するとともに、衛星画像などを積極的に利用し、ケーススタディを重ねることで仮説を検証していきたい。

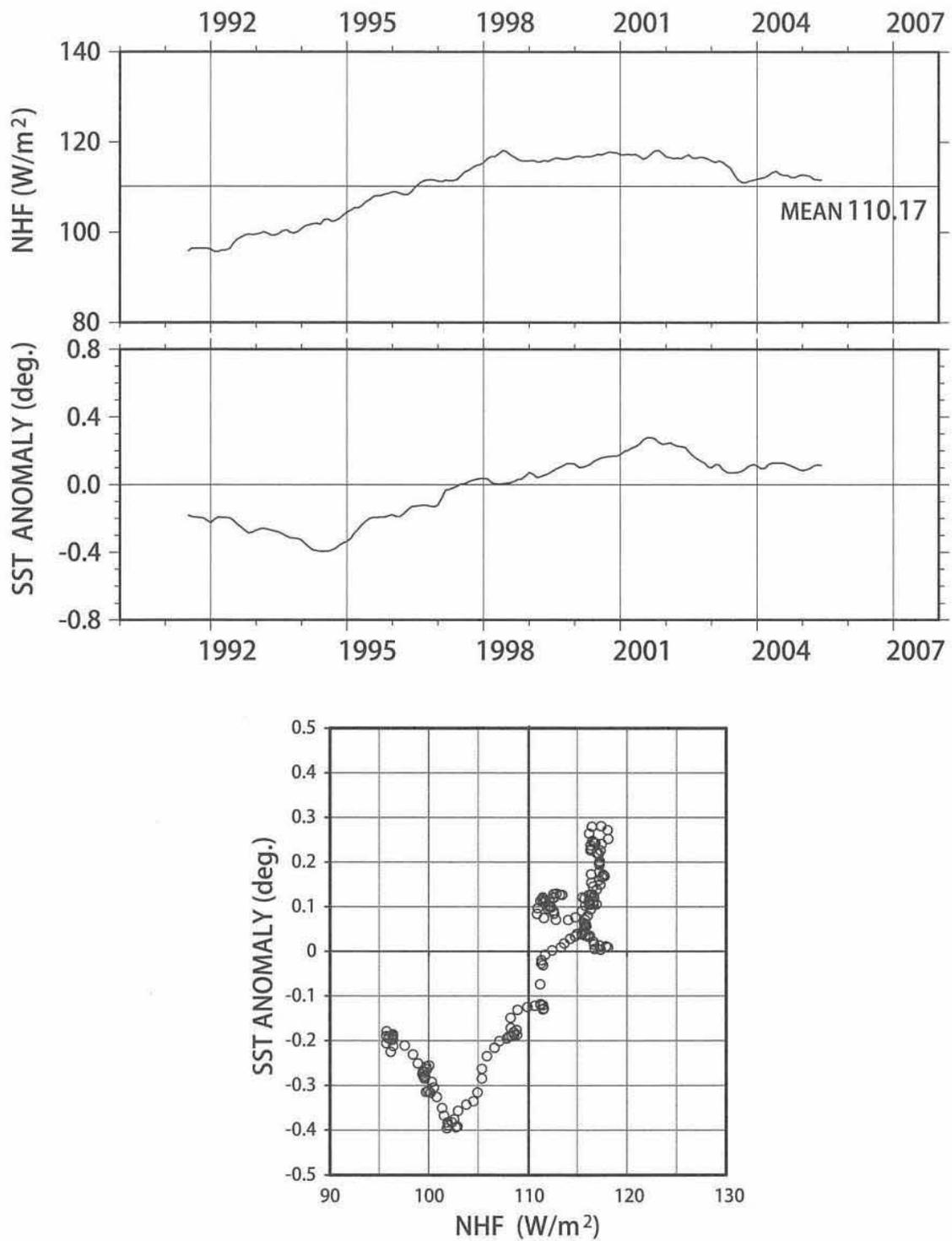


Fig. 4-1 Time series of low-pass filtered Net Heat Flux (upper panel) and SST anomaly south of Mishima Island (middle panel). Scatter diagram between NHF and SST (lower panel).

第5章 結論

本論文では、山口県沖合を中心とする西部山陰沿岸において、数日から数週間程度の短期水温変動の特徴とその原因を検討するとともに、水温場の長期的な変動について考察した。その結果は以下のとおりである。

- 1) 西部山陰沿岸の表層水温には、数日～数週間の時間スケールをもつ変動が存在する。さらにその変動は、九州北部から山口県中部まで山陰沿岸に沿って伝播する。
- 2) 定置網漁場における水温資料の解析(CEOF解析)の結果、数日～数週間スケールの変動は、対象海域の水温が一斉に昇降するモード(CEOF第1モード; 53.4%)と山口県西部とそれよりも東の海域で変動の位相が逆転し、かつ九州北部から山口県中部まで位相が伝播するモード(CEOF第2モード; 11.4%)によって主に構成されていた。
- 3) CEOF第1モードは、海面熱フラックスとの間に有意な相関関係が認められたことから、大気変動に関連した変動であると考えられた。
- 4) CEOF第2モードは、位相の不連続が周年を通して認められること、また位相伝播が認められることから、海底地形に捕捉された対馬海流沿岸分枝との関連が考えられた。
- 5) 沿岸水温と水位の同時解析(結合EOF解析)の結果から、対馬海峡東水道の通過流量が相対的に小さいときに、山口県西部沿岸で高温、山口県東部から島根県沿岸にかけては低温傾向を示すことがわかった。この結果に基づき、対馬海峡東水道の流量が小さく、表層流速が弱いときに沿岸分枝の流路が不安定になり、見島の南へ暖水が流れ込むのではないかと、という仮説を提案した。萩-見島旅客船による沖合水温資料の解析からも、仮説を支持する結果が得られた。
- 6) 見島南方で得られた長期にわたる表層水温観測資料の解析から、当該海域における水温の上昇傾向(1.25℃/47年間)が明らかとなり、この傾向は夏季よりも冬季に強く現れていることがわかった。同様の水温の上昇傾向は、山口県漁業調査船による定期海洋観測資料にも認められ、表層のみならず亜表層でも昇温傾向が確認された。
- 7) 水温の上昇トレンドに加えて、十年スケールの変動も存在し、ラページ検定から1986/87年と1997/98年に水温の不連続的变化(水温ジャンプ)が生じていることが

明らかとなった。この十年スケール変動は、北太平洋十年規模振動指数と高い相関を示すことから、北太平洋規模の海洋変動との関連が示唆された。同様の十年スケール変動は、漁業調査船による海洋観測資料にも認められ、亜表層においても生じていることが示された。

- 8) 十年スケール変動の水温上昇時期と、山口県日本海側での熱帯・亜熱帯性魚類の顕著な増加時期とはおおむね一致していた。

要 旨

山口県沖合を中心とする日本海南海域、特に萩から見島にかけての海域は漁業生産性が高く、マアジ、マサバ、いわし類などの浮魚類や、いか類の好漁場となっている。しかし、最近、沿岸域でのこれらの魚種の不漁が顕著となり、漁業者からは操業に有益な数日から数週間程度の短期漁況予報や海況情報の提供を望む声が強くなっている。また、近年は地球温暖化や気候変動が海洋環境に及ぼす影響に関心が高まっており、漁業者だけでなく、行政やマスコミなどからも長期的な海況変動についてコメントを求められることが多くなってきた。このような背景のもと、本研究では山口県沖を中心とした西部山陰沿岸域における数日から数週間程度の海況変動の時空間的な特徴を示し、さらに、これらの変動の背景に存在する水温場の長期的な変動を明らかにする。

本論文は5章から構成されており、以下に各章の内容を記す。

第1章では、西部山陰沿岸域の漁業や海洋学的な特徴を整理し、対象海域における水温変動に関する研究成果をレビューするとともに、本研究の目的を示した。

第2章では、九州北部から島根県西部に点在する定置網に取り付けたメモリー式水温計による観測資料と、萩-見島旅客船による沖合の水温観測資料の解析を通して、西部山陰沿岸における水温の短期変動特性を明らかにした。

定置網漁場の水温観測資料の解析からは、西部山陰沿岸における数日～数週間スケールの水温変動の存在が明らかになった。この時間スケールの変動は、対象海域の水温が一斉に昇降するモード(53.4%)と、山口県西部と山口県東部以東で変動の位相が逆転し、かつ九州北部から山口県中部まで位相が伝播するモード(11.4%)から主に構成されていた。

水温が一斉に昇降するモードは、海面熱フラックスとの間に有意な相関関係が認められたことから、大気変動に関連した変動と考えられた。一方、山口県西部と東部で位相が反転するモードについては、位相伝播の特徴がみられるとともに、定在的な位相の不連続が認められたことから、海底地形に捕捉された対馬海流沿岸分枝との関連が示唆された。そこで、対馬海流沿岸分枝の流路変動を反映する沿岸水位と表層水温との同時解析を行った。その結果、博多-厳原の水位差が小さいとき（すなわち、対馬海峡東水道の通過流量が相対的に小さいとき）に、山口県西部沿岸で高温、山口県東部から島根県沿岸にかけては低温の傾向を示すことがわかった。この結果に基づき、対馬海峡東水道の流量が小さく、表層流速が弱いときに沿岸分枝の流路が不安定になり、見島南方へ暖水が流れ込むのではないかという仮説を提案した。

萩-見島旅客船による表層水温観測の資料解析からは、航路上（沖合）の水温にも沿岸水温と同様の変動特性が認められることが示された。そこで沖合水温の数日～数週間スケールの変動成分に統計的な解析を施した結果、水温変動は主に航路の南北で位相が反転するモード（50.0%）と、航路中央と航路の南北が逆位相で変動するモード（24.1%）から構成されていることがわかった。各モードの卓越周期帯を調べ、博多-厳原の水位差との比較を行ったところ、航路の南北で位相が反転するモードの卓越周期帯（約4日）で水位差との間に高い相関関係が認められた。このことは、博多-厳原の水位差が大きい（小さい）とき（対馬海峡東水道の通過流量が大きい（小さい）とき）に、見島南方の水温が低下（上昇）する傾向があることを示し、上の仮説を支持する結果が得られた。

第3章では、水温場の長期変動について考察した。1964～2010年の47年間に見島南方で得られた表層水温観測資料の解析から、当該海域における水温の上昇傾向（1.25℃/47年間）が明らかになった。また、水温の上昇傾向は夏季よりも冬季に強く現れることがわかった。トレンドとしての水温上昇に加えて十年スケールの変動も存在し、ラページ検定の結果から、1986/87年と1997/98年に水温の不連続的変化（水温ジャンプ）が生じていることが明らかになった。十年スケールの変動は、北太平洋十年規模振動指数と高い相関を示すことから、北太平洋規模の海洋変動が西部山陰沿

岸においても現れたと考えられた。さらに同様の水温上昇傾向、十年スケール変動は、山口県漁業調査船による47年間（1964～2010年）の定期海洋観測資料にも認められ、表層のみならず海面下にも存在することが明らかとなった。また、この十年スケール変動にみられる水温の上昇時期と、山口県日本海側での熱帯・亜熱帯性魚類の顕著な増加時期とはおおむね一致していた。

第4章では、総合考察として、十年スケールの水温変動の要因について検討し、海面熱フラックスは当該海域の短期水温変動と長期的な水温変動の両方に影響を及ぼしていることを示唆した。また、本研究で明らかになった水温変動特性と山口県沿岸に出現する海洋生物の関連について考察するとともに、今後の課題について述べた。

第5章では、本論文で得られた知見を総括した。

謝 辞

本研究を行うにあたり、九州大学応用力学研究所の千手智晴准教授には、データの取り扱いから文書の書き方など細部にわたり、最後の最後まで懇切丁寧にご指導を頂きました。研究面だけに限らず、挫けそうになったときには、いつも暖かく励ましてくださり精神的にも助けていただきました。本当に心から感謝いたします。またお忙しい中、副査を快く引受けてくださり、多くの建設的なコメントをいただいた九州大学応用力学研究所の松野健教授、広瀬直毅教授、愛媛大学の森本昭彦教授の3名の先生方に厚くお礼申し上げます。九州大学応用力学研究所の市川香准教授にも有益なコメントを頂きました。ここにお礼申し上げます。

論文をとりまとめるにあたり、山口県水産研究センターの秋山隆文所長をはじめ歴代の所長、および海洋資源グループの河野光久班長、同グループの皆さんには、業務に関し配慮をしていただきました。記して感謝申し上げます。本研究では山口県漁業調査船による月例の海洋観測の資料や萩見島旅客船による水温観測の資料を使用させていただきました。漁業調査船「くろしお」の南野正博船長、旅客船「おにようず」の木村浩介船長、両船の乗組員の皆さん、そしていままで海洋観測に携わってこられた多くの方々に感謝の意を表します。最後に経済的、精神的に多くの負担をかけてしまい迷惑をかけた妻と子供に感謝

します。

文 献

- Barnett, T. P. (1983): Interaction of the monsoon and Pacific trade wind system at interannual time scales. part I. The equatorial zone. *Mon. Weather Rev.*, **111**, 756-773.
- Emery, W. J. and R. E. Thomson (2001): *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Elsevier, Oxford, 24-25.
- Fukudome, K., J. H. Yoon, A. Ostrovskii, T. Takikawa and I. S. Han (2010): Seasonal volume transport variation in the Tsushima warm current through the Tsushima straits from 10 years of ADCP observations. *J. Oceanogr.*, **66**, 539-551.
- 広瀬直毅・小林亮祐・高山勝巳 (2009): 対馬暖流分枝説の検証 ―データ同化の結果―. *海と空*, **85**, 25-35.
- 伊藤久徳・見延庄士郎 (2010): 気象学と海洋物理学に用いられるデータ解析法 2011. *気象研究ノート*, **221**, 167-168.
- 神崎博幸・金丸彦一郎 (2007): 壱岐・対馬東水道における2月, 8月の水温の長期変動について. *佐賀玄海セ研報*, **4**, 1-6.
- Katoh, O. (1994): Short-term fluctuations of the Tsushima Current in waters northwest of Yamaguchi Prefecture. *J. Oceanogr.*, **50**, 51-64.
- 加藤修・中川倫寿・松井繁明・山田東也・渡邊達郎 (2006): 沿岸・沖合定線観測データから示される日本海及び対馬海峡における水温の長期変動. *沿岸海洋研究*, **44**, 19-24.
- 河野光久・土井啓行・堀成夫 (2011): 山口県日本海産魚類目録. *山口水研セ研報*, **9**, 29-64.
- 気象庁 (2013): *海洋の健康診断表 総合診断表 第2版*.
- 小林知吉・堀成夫・土井啓行・河野光久 (2006): 山口県の日本海沿岸域における海洋生物に関する特記的現象. *山口水研セ研報*, **4**, 19-56.
- Kondo, J. (1975): Air-sea bulk transfer coefficients in the diabatic conditions. *Boundary-Layer Meteorol.*, **9**, 91-112.
- Manda, A., A. Isobe, K. Omura and Y. Kozuka (2000): Low-frequency temperature variability at Fukue Island located southwest of the Tsushima straits. *J. Oceanogr.*, **56**, 141-152.
- Mantua, N. J., and Hare S. R. (2002): The Pacific Decadal Oscillation. *J. Oceanogr.*, **58**, 35-44.
- 松山洋・谷本陽一 (2005): UNIX/Windowsを使った実践気候データ解析. *古今書院*, 45-49.
- Mori, K., T. Matsuno, T. Senjyu, N. Hirose and I. Han (2009): Short-term temperature and salinity variations in the Tsushima Strait in 2004: Behavior of the surface low salinity water in the strait. *J. Oceanogr.*, **65**, 301-310.
- 中園隆司・吉川裕・増田章・丸林賢二・石橋道芳 (2008): 対馬海峡東水道に見られる反時計回り渦の変動特性. *九大応力研所報*, **134**, 47-52.
- 農林水産省大臣官房統計部 (2010): *平成20年漁業・養殖業生産統計年報*.
- Ogawa, Y. (1979): Alternation of water masses on the coastal fishing ground in the southwestern Japan sea. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, **52**, 79-89.
- 鬼塚剛・滝川哲太郎・小針統・杵雅利・森本昭彦・渡邊敦・吉川裕・柳哲雄 (2011): 2007年11月に対馬東部海域で観測された低気圧性渦周辺の栄養塩・プランクトン分布. *海と空*, **87**, 11-19.
- Senjyu, T. and T. Watanabe (2004): Decadal signal in the sea surface temperature off San' in coast in the southwestern Japan Sea. *Rep. Res. Inst. Appl. Mech., Kyushu Univ.*, **127**, 49-53.
- Senjyu, T., I. Han and S. Matsui (2010): Interdecadal variations of temperature and salinity structures in the Tsushima Strait. *Pacific. Oceanogr.*, **5**, 44-55.
- 千手智晴・新原翔一・松野健・滝川哲太郎・吉村浩・森井康宏・山脇信博・内田淳 (2011): 対馬海峡東縁で観測された frontal eddy の特徴. *海と空*, **87**, 1-10.
- Takikawa, T., J. H. Yoon and K. D. Cho. (2005): The Tsushima warm current through Tsushima straits estimated from ferryboat ADCP data. *J. Phys. Oceanogr.*, **35**, 1154-1168.
- Tawara, S. and T. Fujiwara (1985): Sea surface temperature distribution and

- its variability across the Tsushima strait. *J. Oceanogr.*, **41**, 49-55.
- Tian, Y., H. Kidokoro and T. Fujino (2011): Interannual-decadal variability of demersal fish assemblages in the Tsushima Warm Current region of the Japan Sea: Impacts of climate regime shifts and trawl fisheries with implications for ecosystem-based management. *Fish. Res.*, **112**, 140-153.
- Tomita, H., M. Kubota, M. F. Cronin, S. Iwasaki, M. Konda and H. Ichikawa (2010): An assessment of surface heat fluxes from J-OFURO2 at the KE0 and JKE0 sites. *J. Geophys. Res.*, **115**, C06022, doi:10.1029/2006 JC003625.
- 梅田智樹・千々波行典・伊賀田邦義・広瀬茂・秋山秀樹・山田東也・種子田雄・村上憲男・臼井雅一・伊賀上孝徳 (2012): 佐賀県玄海沿岸海域における地球温暖化による漁場環境・水産生物への影響調査. *佐賀玄海セ研報*, **5**, 1-22.
- Yonetani, T (1993): Detection of long term trend, cyclic variation and step-like changed by lepage test. *J. Meteorological.*, **71**, 415-418.
- Yoshikawa, Y., T. Matsuno, K. Marubayashi and K. Fukudome (2007): A surface velocity spiral observed with ADCP and HF radar in the Tsushima Strait. *J. Geophys. Res.*, **112**, C06022, doi:10.1029/2006JC003625.

漁獲量変動要因の重み付き最小二乗法による解析手法

品川汐夫*・渡邊俊輝

Analysis of the Catch Variate Factors using the Weighted Least Squares Method

Sekio SHINAGAWA and Toshiteru WATANABE

The coastal fishery production in Hagi city has greatly decreased from 55 billion yen to 30 billion yen in these 16 years. As the species number in the catch of Hagi city measures up to far over 70, a handy method is required to clarify the cause of this decrease. In this paper, a new approach is proposed for practical use to solve this problem using the weighted least squares method with some applications to the data accumulated in Hagi city since 2002.

Key Words : Annual catch variation ; Weighted least squares method ; Coastal fishery production

萩市における近年の沿岸漁業生産の落ち込みは著しく、山口県漁業協同組合（以下、山口県漁協）はぎ統括支店中 10 支店（2005 年市町村合併後の江崎と須佐を除く）の合計は、2002 年度の 55.4 億円から 2017 年度の 30.1 億円へと 16 年間で 25 億円以上減少し過去最低となった。一方 5 年ごとに行われる漁業センサスによると、同じ 10 支店の漁業経営体数は 2003 年の 663 から 2013 年の 478 へと、これも大きく減少しているから、この原因解明には対象魚種の現存量（または来遊量）と経営体数の変化の効果を切り分ける必要がある。その際、漁獲量と経営体数の関係は単純比例とは限らないから、漁獲量を経営体当たりで換算しても問題は解決しない。この関係は魚種と漁業種類ごとに異なると考えられるが、萩市で識別されている魚種名は 74 種に及ぶ多様さが特徴である。したがって、漁獲量と経営体数の統計データからこれを簡便に行う手法が必要である。ここでは、経営体当たり漁獲量の経年変化を経営体数の変化と年数経過に関わる部分に分解する重み付き最小二乗法による重回帰分析を使った手法を試み、萩市水産課の収集した漁獲統計データに適用して重要な知見を得た。

材料と方法

材料

萩市水産課では、萩市内の山口県漁協各支店からの報告を元に魚種別の漁獲量を集計している。この魚種は便

宜的なもので生物学上の種名ではなく、複数種を含むものもあるが、これを分類単位として用いた。この分類単位は 2002 年度から一部変更され、集計期間も暦年（1 月～12 月）から年度（4 月～翌年 3 月）に変更された。そこで解析は、2002～2017 年度の 10 支店（江崎と須佐を除く）の年間漁獲量について行った。

重回帰分析による変動要因の解析

漁獲量の変動には分散一定の前提は成り立たないから、重回帰分析には重み付き最小二乗法の適用が必要である。また、漁獲量データの特性に応じた修正も必要である。そこで、まず重み付き最小二乗法の理論の見直しを行った。

重み付き最小二乗法の基礎理論

1 尤度関数

第 i 年の経営体当たり漁獲量観測値を y_i 、回帰推定値を \hat{y}_i 、標準偏差を σ_i とし、各年の漁獲量変動が独立に正規分布に従うものとするれば、対数尤度関数 $\log(L)$ は、

$$\log(L) = -\frac{n}{2} \log(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_i \log(\sigma_i^2) - \frac{1}{2} \sum_i \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sigma_i^2}$$

ここで、 $w_i \equiv \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}$ とおき、 σ_0^2 は未知の定数、 w_i は既知とすれば、

$$-\log(L) = \frac{n}{2} \log(2\pi) + \frac{n}{2} \log(\sigma_0^2) - \frac{1}{2} \sum_i \log(w_i) +$$

*元 下関短期大学教授

$$\frac{1}{2\sigma_0^2} \sum_i w_i (y_i - \hat{y}_i)^2$$

したがって、尤度を最大にする \hat{y}_i のパラメータは、 $S = \sum_i w_i (y_i - \hat{y}_i)^2$ を最小にすることにより求められる。また、未知の定数 σ_0^2 の期待値は、後述するように、このときの S の値から推定される。これが w_i を重みとする重み付き最小二乗法であるが、問題は w_i の定め方である。漁獲量データは、豊漁の時期には変動幅も大きいから、 w_i として \hat{y}_i の逆数を用いるのが自然である。しかし、そうすると S は \hat{y}_i のパラメータに関して非線形となり、線形手法が適用できない。そこでここでは、初回の \hat{y}_i を重み無しで求め、前回の \hat{y}_i の逆数を既知定数 w_i として、通常の線形手法により新しい \hat{y}_i を求める計算を、 w_i の値が収束するまで繰り返し、結果として回帰式の逆数を重みとする最小二乗解を求める計算方法を用いた。

2 重み付き最小二乗法の線形解

以下では、列ベクトルを小文字の太字、行列を大文字の太字で表記し、また、行と列の入れ替えをダッシュ (') で表記する。まず、次のように定義する。

$$\text{目的変数ベクトル: } \mathbf{y}' = [y_1, y_2, \dots, y_n]$$

$$\text{説明変数ベクトル: } \mathbf{x}_i' = [x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}]$$

$$\text{説明変数行列: } \mathbf{A} = [\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_m]$$

ただし、 n はデータ期間年数、 m は回帰式中の定数項以外のパラメータ数、 x_{ij} は第 i 年の第 j 説明変数 (経過年数と経営体数のべき乗)。

そうすると、線形回帰式は次のように表せる。

$$\hat{\mathbf{y}} = b_0 \mathbf{1}_n + \mathbf{A}\mathbf{b}$$

ただし、 b_0 は定数項、 $\mathbf{b}' = [b_1, b_2, \dots, b_m]$ は回帰係数ベクトル、 $\mathbf{1}_n' = [1, 1, \dots, 1]$ は全成分が 1 の n 次元定数ベクトル。また、上に述べた重み w_i を対角成分とする行列を \mathbf{W} とし、 w_i を重み付けして n 年間を平均した平均ベクトルと平均行列を次のように表記する。

$$\bar{\mathbf{x}}' = [\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m], \quad \bar{\mathbf{y}}' = [\bar{y}, \bar{y}, \dots, \bar{y}]$$

$$\bar{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 & \dots & \bar{x}_m \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_1 & \dots & \bar{x}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{x}}' \\ \vdots \\ \bar{\mathbf{x}}' \end{bmatrix} = [\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m] \quad ,$$

これらの表記を用いると、

$$\begin{aligned} S &= (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}})' \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) \\ &= \mathbf{y}' \mathbf{W} \mathbf{y} - 2(b_0 \mathbf{1}' + \mathbf{b}' \mathbf{A}') \mathbf{W} \mathbf{y} \\ &\quad + (b_0 \mathbf{1}' + \mathbf{b}' \mathbf{A}') \mathbf{W} (b_0 \mathbf{1} + \mathbf{A}\mathbf{b}) \end{aligned}$$

であるから、

$$\frac{\partial S}{\partial b_0} = 0 \quad \text{より、} S \text{ を最小にする } b_0 \text{ は、}$$

$$\hat{b}_0 = \frac{\mathbf{1}_n' \mathbf{W} \mathbf{y} - \mathbf{1}_n' \mathbf{W} \mathbf{A} \mathbf{b}}{\mathbf{1}_n' \mathbf{W} \mathbf{1}_n} = \bar{y} - \bar{\mathbf{x}}' \mathbf{b} \quad \text{となる。次に、}$$

$$\frac{\partial S}{\partial \mathbf{b}} = -2\mathbf{A}' \mathbf{W} \mathbf{y} + 2b_0 \mathbf{A}' \mathbf{W} \mathbf{1}_n + 2\mathbf{A}' \mathbf{W} \mathbf{A} \mathbf{b} = \mathbf{0} \quad \text{の } b_0 \text{ に}$$

上の \hat{b}_0 を代入して \mathbf{b} について整理すると、

$$\left(\mathbf{A}' \mathbf{W} \mathbf{A} - \frac{\mathbf{A}' \mathbf{W} \mathbf{1}_n \mathbf{1}_n' \mathbf{W} \mathbf{A}}{\mathbf{1}_n' \mathbf{W} \mathbf{1}_n} \right) \mathbf{b} = \mathbf{A}' \mathbf{W} \left(\mathbf{y} - \frac{\mathbf{1}_n \mathbf{1}_n' \mathbf{W} \mathbf{y}}{\mathbf{1}_n' \mathbf{W} \mathbf{1}_n} \right)$$

これから、 \mathbf{b} についての正規方程式

$$\{\mathbf{A}' \mathbf{W} \mathbf{A} - (\sum w_i) \bar{\mathbf{x}} \bar{\mathbf{x}}'\} \mathbf{b} = \mathbf{A}' \mathbf{W} (\mathbf{y} - \bar{y})$$

$$\text{さらに } \bar{\mathbf{A}}' \mathbf{W} \mathbf{A} = \mathbf{A}' \mathbf{W} \bar{\mathbf{A}} = \bar{\mathbf{A}}' \mathbf{W} \bar{\mathbf{A}} = (\sum w_i) \bar{\mathbf{x}} \bar{\mathbf{x}}',$$

$$\bar{\mathbf{A}}' \mathbf{W} \mathbf{y} = \mathbf{A}' \mathbf{W} \bar{y} = \bar{\mathbf{A}}' \mathbf{W} \bar{y} \quad \text{だから、}$$

$$(\mathbf{A} - \bar{\mathbf{A}})' \mathbf{W} (\mathbf{A} - \bar{\mathbf{A}}) = \mathbf{A}' \mathbf{W} \mathbf{A} - (\sum w_i) \bar{\mathbf{x}} \bar{\mathbf{x}}'$$

$$(\mathbf{A} - \bar{\mathbf{A}})' \mathbf{W} (\mathbf{y} - \bar{y}) = \mathbf{A}' \mathbf{W} (\mathbf{y} - \bar{y})$$

したがって正規方程式は、

$$(\mathbf{A} - \bar{\mathbf{A}})' \mathbf{W} (\mathbf{A} - \bar{\mathbf{A}}) \mathbf{b} = (\mathbf{A} - \bar{\mathbf{A}})' \mathbf{W} (\mathbf{y} - \bar{y}) \quad \text{となる。}$$

ここで、改めて $\mathbf{C} = \mathbf{A} - \bar{\mathbf{A}}$, $\mathbf{z} = \mathbf{y} - \bar{y}$ と表せば、正規方程式は $\mathbf{C}' \mathbf{W} \mathbf{C} \mathbf{b} = \mathbf{C}' \mathbf{W} \mathbf{z}$ となるので、データの平均に重み付きを用いることのほかに、データの総和が 0 を前提とした標準的な重み付き最小二乗法¹⁾ と完全に一致する。これから、回帰係数の最尤推定値は、

$$\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{D} \mathbf{z} = \mathbf{D} (\mathbf{y} - \bar{y}), \quad \hat{b}_0 = \bar{y} - \bar{\mathbf{x}}' \hat{\mathbf{b}}$$

$$\text{ただし、} \mathbf{D} = (\mathbf{C}' \mathbf{W} \mathbf{C})^{-1} \mathbf{C}' \mathbf{W}$$

3 誤差分散の推定

ここでは、回帰式は真の関係を表すが、回帰係数には計算を通じて観測値の誤差が伝播しているものとする。また、観測値 $\mathbf{z} = \mathbf{y} - \bar{y}$ の誤差ベクトルを $\boldsymbol{\varepsilon}$ 、 \mathbf{z} の真値を \mathbf{z}^0 、 \mathbf{b} の真値を \mathbf{b}^0 、 b_0 の真値を b_0^0 とする。

(1) σ_0^2 の推定

\bar{y} の誤差は無視し、 \mathbf{y} と \mathbf{z} の誤差が等しいとすると、 $\mathbf{v} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{z} - \hat{\mathbf{z}} = (\mathbf{I}_n - \mathbf{C}\mathbf{D})\boldsymbol{\varepsilon}$ ただし、 \mathbf{I}_n は n 次元単位行列。

したがって、 $S = \mathbf{v}' \mathbf{W} \mathbf{v} = \boldsymbol{\varepsilon}' \{\mathbf{W} \mathbf{v} - \mathbf{D}' \mathbf{C}' \mathbf{W} \mathbf{v}\}$ であるが、 $\mathbf{C}' \mathbf{W} \mathbf{v} = \mathbf{C}' \mathbf{W} (\mathbf{z} - \hat{\mathbf{z}}) = \mathbf{C}' \mathbf{W} \mathbf{C} \hat{\mathbf{b}} - \mathbf{C}' \mathbf{W} \hat{\mathbf{z}} = \mathbf{0}$ だから、 $S = \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{W} (\mathbf{I}_n - \mathbf{C}\mathbf{D}) \boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{W} \boldsymbol{\varepsilon} - \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{W} \mathbf{C} \mathbf{D} \boldsymbol{\varepsilon}$

したがって、 S の期待値 $\langle S \rangle$ は、

$$\begin{aligned} \langle S \rangle &= \langle \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{W} \boldsymbol{\varepsilon} \rangle - \langle \boldsymbol{\varepsilon}' \mathbf{W} \mathbf{C} \mathbf{D} \boldsymbol{\varepsilon} \rangle \\ &= n\sigma_0^2 - \sigma_0^2 \text{trace}(\mathbf{W} \mathbf{C} \mathbf{D} \mathbf{W}^{-1}) = \sigma_0^2 (n - m) \end{aligned}$$

ただし、 $\langle \boldsymbol{\varepsilon}_i \boldsymbol{\varepsilon}_i \rangle = \frac{\sigma_0^2}{w_i}$ 、 $\langle \boldsymbol{\varepsilon}_i \boldsymbol{\varepsilon}_j \rangle = 0$ ($i \neq j$)、 $\text{trace}(\mathbf{C}\mathbf{D}) =$

$$\text{trace}(\mathbf{D}\mathbf{C}) = \text{trace}(\mathbf{I}_m) = m$$

を用いた。

これから、 σ_0^2 は $\sigma_0^2 = S / (n - m)$ で推定すればよいことになるが、基準とする観測条件を制御できない漁獲量データでは \bar{y} の誤差の影響も無視できない。それは母分散と不偏分散の関係と同様である。したがって、回帰式のパラメータに定数項が加わった分だけ自由度が

減じることから、 σ_0^2 の推定値を $\sigma_0^2 = S/(n-m-1)$ とすればよい。

(2) 回帰係数ベクトルの分散行列

$\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{b}^0 = \mathbf{D}(\mathbf{z} - \mathbf{z}^0) = \mathbf{D}\boldsymbol{\varepsilon}$ だから、 $\hat{\mathbf{b}}$ の分散行列の期待値は、

$$\mathbf{D}(\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}')\mathbf{D}' = (\mathbf{C}'\mathbf{W}\mathbf{C})^{-1}\mathbf{C}'\mathbf{W}(\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}')\mathbf{W}\mathbf{C}(\mathbf{C}'\mathbf{W}\mathbf{C})^{-1}$$

ここで、 σ_0^2 の推定値に上に述べた自由度 $n-m-1$ の値を用いれば、 $(\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}') = \sigma_0^2\mathbf{W}^{-1}$ だから、回帰係数 $\hat{\mathbf{b}}$ の分散行列は $\sigma_0^2(\mathbf{C}'\mathbf{W}\mathbf{C})^{-1}$ となる。

(3) 定数項の誤差分散

$$\hat{b}_0 - b_0^0 = (\bar{y} - \bar{\mathbf{x}}'\hat{\mathbf{b}}) - (\bar{y} - \bar{\mathbf{x}}'\mathbf{b}^0) = -\bar{\mathbf{x}}'(\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{b}^0)$$

だから、定数項の誤差分散は、

$$\bar{\mathbf{x}}'(\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{b}^0)(\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{b}^0)'\bar{\mathbf{x}} = \sigma_0^2\bar{\mathbf{x}}'(\mathbf{C}'\mathbf{W}\mathbf{C})^{-1}\bar{\mathbf{x}}$$

(4) 回帰推定値の誤差分散行列

$$(\hat{\mathbf{z}} - \mathbf{z}^0)(\hat{\mathbf{z}} - \mathbf{z}^0)' = \mathbf{C}(\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{b}^0)(\hat{\mathbf{b}} - \mathbf{b}^0)'\mathbf{C}' \text{ だから、}$$

回帰推定値の誤差分散行列は、 $\sigma_0^2\mathbf{C}(\mathbf{C}'\mathbf{W}\mathbf{C})^{-1}\mathbf{C}'$

4 重みの補正

重み付き最小二乗法は、各観測値の回帰式からのずれの重みを観測値の誤差分散の逆数として、回帰推定値への誤差の影響を減じる方法である。ところが観測値の回帰式からのずれには、観測値に含まれる誤差と、その誤差が計算を通じて回帰係数に伝播して生じる誤差が含まれる。そこでここでは、それぞれの誤差分散の和の逆数を合成重みとする。その際、それぞれの誤差分散の計算には互いに他の値が必要となるが、先に述べたように、重みなしから初めて合成重みが収束するまで計算を繰り返すことで目的の解を得る。

5 AIC の計算

最尤法は、想定モデルの確率密度に従う事象の平均的生じ難さ（確率密度の逆数の対数の期待値）と真の確率密度に従う事象の平均的生じ難さの差（カルバック・ライブラー情報量）を最小にする方法である。これは真の確率密度が分からなければ計算できないが、大標本については、AIC の値がこの情報量の 2 倍に漸近的に一致することが示されており、回帰モデルの選択に用いられる。上に述べた最尤法における AIC の計算式は、
AIC = $-2 \times$ 最大対数尤度 + $2 \times$ パラメータ数

$$= n \log(2\pi\sigma_0^2) - \sum_i \log(w_i) + n + m + 3$$

一方、回帰式が無意味な場合の AIC を AIC0 とすると、

$$\hat{y}_i = \bar{y}, \quad \sigma_i^2 = \sigma_0^2 = S/(n-1), \quad w_i = 1 \text{ だから、}$$

$$\text{AIC0} = n \log(2\pi\sigma_0^2) + n + 3$$

AIC と AIC0 を比較すれば回帰モデルの有意性を判断できる。

6 対数正規分布の適用

実際の漁獲量データでは偶然とも思える多獲の年があり、逆に少ない年でも負になることはないから、その変動が正規分布に従わないことが多い。このようなデータを正規分布に近づけるために、ここでは経営体当たり漁獲量に 1 を加算後対数変換した値を用いて線形重回帰分析を行い、その結果を逆変換して回帰推定値を求める方法を適用した。この対数変換をした場合としない場合それぞれについて、重み付けをした場合としない場合の 4 通りの計算を行い、できるだけ AIC が低い結果を採用する。ただし、対数変換した場合には AIC の計算に次の修正が必要である。

元データ y を $z(y) = \log(y+1)$ で対数変換したとき、 z の確率密度が $p(z)$ であるとする、 y の確率密度は $p(z(y)) \frac{dz}{dy} = p(z(y)) \times \frac{1}{y+1}$ となるから、観測値

y_i の対数尤度は z_i の対数尤度 $-\sum_i \log(y_i+1)$ となる。したがって、変数の対数変換を用いて得られた y_i についての回帰式の AIC は、

$$z_i \text{ の線形計算による } \text{AIC} + 2 \sum_i \log(y_i+1) \text{ となる。}$$

7 経営体当たり漁獲量の回帰式とその意味

解析の目的は、漁獲量の変化を対象魚種の現存量による変化と経営体数による変化に分けることである。ただし現存量とは、萩市の沿岸漁業が年度を通じて漁獲の対象にできる魚群総量で、回遊魚の場合は年度を通じて漁場海域に来遊する魚群総量である。

そこでここでは、経営体当たりの漁獲量 y が、経営体数 x の関数 $f(x)$ と経過年数 t の関数 $g(t)$ の和で表される回帰式を考える。

$$y(x, t) = f(x) + g(t), \quad f(x) = ax + \frac{b}{x} + c,$$

$$g(t) = dt^3 + et^2 + ft$$

この回帰式は曲面 $y(x, t)$ と曲線 $x(t)$ で定まる空間曲線である。ただし、各多項式のどの項を採用するかは、AIC が最小となる組み合わせで定める。

漁獲量と経営体数の関係は一般に直線的ではなく、ある区間内では二次関数で近似できると考える。これを経営体当たりで表せば $f(x)$ となる。

$f(x)$ の変化率が負の場合、 $g(t)$ が一定の条件下で経営体数が増加すると経営体当たり漁獲量は減少するから、経営体当たり漁獲量の増加を図る上では経営体数は過剰

である。逆に正の場合、経営体数と経営体当たり漁獲量はともに増加できるから、経営体数は過少であり、極大の場合は最適、極小の場合は不適といえる。このように、 $f(x)$ は漁獲量と経営体数について重要な情報を与える。

経営体当たり漁獲量は現存量と漁獲率（合計漁獲量の現存量に対する割合）および経営体数によって決まる。漁獲率が経営体数で決まるとすれば、 $g(t)$ の変化は現存量の変化による。同様に $f(x)$ の変化は経営体数の変化によるが、それは単純ではない。経営体数も経過年数の関数なので、年数経過によって要因の連鎖を生じ、現存量の変化が経営体数の変化に影響することも考えられる。しかしそれはこの解析の後で解明される問題であるから、この解析では $f(x)$ と $g(t)$ を経営体当たり漁獲量変化の要因と考え、それぞれを経営体数項および現存量項と呼ぶ。

結果

萩市が集計する 74 種の上位 3 種、あじ類（大部分がマアジ）、ケンサキイカ、あまたい類（大部分がアカアマダイ）は全漁獲金額の 31% を占める。そこでこれらの魚種について上述の解析方法を適用した結果を以下に述べる。

この解析の中で用いる各年度の経営体数は、農水省漁業センサスの 2003、2008、2013 年度の報告から、2002～2014 年度は各区間の直線式で推定し、2015 年度以降は直線式で推定した場合と不変と推定した場合の 2 通りの計算を行い、それぞれ Case1、Case2 とした。また、各 Case について経営体当たり漁獲量を対数変換して用いた場合と対数変換せずに用いた場合の計算を、重み付きと重み無しの方法で計算し、それぞれの中で AIC が最小となる変数の組み合わせを求めた。なお、この計算にはマイクロソフト社の ExcelVBA で作成したプログラムを用いた (<http://www.hagi-fish.com/Index.htm>, 2018 年 12 月公開)。

あじ類

あじ類はほとんどが大島支店で漁獲されているので大島支店のデータを解析した。その漁獲金額は 2008 年度に最大となり 8 億円を超えたが、2012 年度以降は 4 億円を下回っている (図 1)。漁業種類は大型小型定置網、刺網、中小型まき網、その他の釣漁業と考えられ、その合計経営体数は 2002～2008 年度の間に半減し、その後は変わっていない (図 2)。したがって解析は Case1 だけである。重回帰分析の結果の AIC 値を表 1 に示す。表中、無関係は関数関係がない場合の AIC 値を示す。結果はすべてが有意であったが、AIC 値が最小なのは無変換・重み付きであった。表 2 左には、各計算結果の要点として

$f(x)$ の経年変化、 $g(t)$ の経年変化、 $f(x)$ の変化に対する経営体数の関係を示した。これから各計算結果に相違はないので AIC が最小の結果を採用した。選択された説明変数は経営体数と経過年数およびその 2 乗で、重相関係数は 0.845 であった。この結果を図 3 に示す。経営体当たりと合計漁獲量の回帰式 (左図、中左図) は実現値の変動をよく再現している。この変動を経営体数項と現存量項に分解すると (中右図)、経営体数項は 2008 年度まで直線的に増加後は一定となり、現存量項は 2014 年度まで二次関数的に減少し、2015 年度以降は増加傾向になっている。これから、経営体当たり漁獲量が 2008 年度頃まで増加したのは、経営体数項の増加が現存量項の減少を上回ったためで、その後の減少は経営体数項が変化せず現存量項の減少が顕在化したためといえる。経営体数項と経営体数の関係 (右図) は負で、現状の経営体数は、漁獲量の増加を図る上では過剰といえるかも知れない。

この解析結果の信頼性をみるために、2002～2017 年度 (以下、2017 年度) と 2002～2016 年度 (以下、2016 年度) の結果の要点を表 2 に示す。表中、5%水準で有意でない AIC 値は () 内に示した。これから、2017 年度と 2016 年度の結果の要点は全て一致しているが、2016 年度の結果は有意でない。一方、2017 年度の結果はすべて有意であるから、新年度のデータの追加によって統計的な信頼度が高くなったといえる。

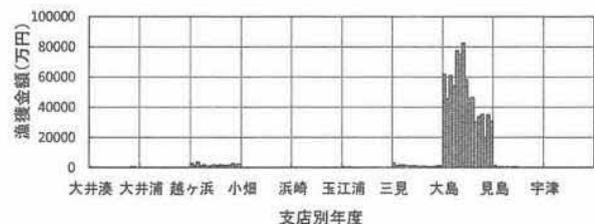


図 1 あじ類の漁協支店別漁獲金額 (2002～2017 年度)。

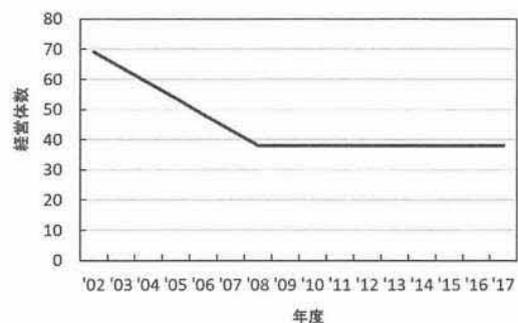


図 2 大島支店合計の大型小型定置網、刺網、中小型まき網、その他の釣漁業経営体数。

表 1 あじ類の各計算結果で最小の AIC 値。

	Case1		
	無関係	重み付き	重み無し

無変換	350.9	336.6	337.1
対数変換	349.9	337.8	337.4

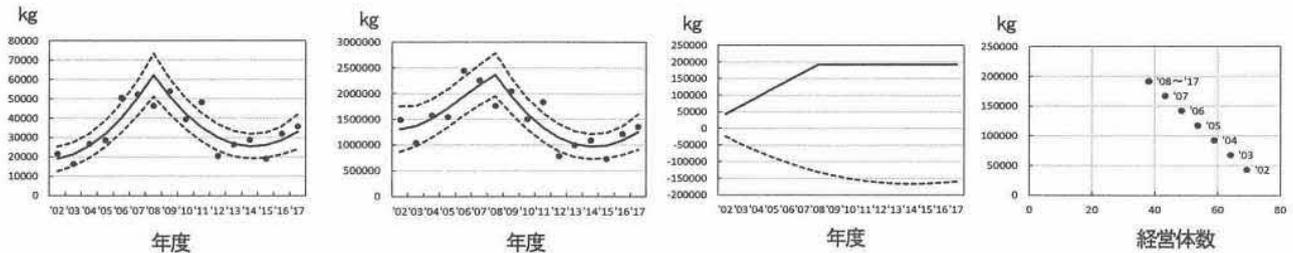


図3 あじ類の解析結果 (Case1)。左：実線は経営体当たり漁獲量の回帰式、点線は標準偏差を示す。中左：実線は合計漁獲量の回帰式、点線は標準偏差を示す。中右：実線は経営体数項、点線は現存量項を示す。右：経営体数項（縦軸）と経営体数（横軸）の関係。● は実現値。

表2 あじ類の2002～2017年度(左)と2002～2016年度(右)の計算結果の比較。左端の数値は無関係がない場合のAIC値、()は5%水準で統計的に有意でないことを示す。

Case1	重み	AIC	経営体数項	現存量項	経営体数	Case1	重み	AIC	経営体数項	現存量項	経営体数
無変換	重み付き	336.6	増加	減少	過剰	無変換	重み付き	(316.6)	増加	減少	過剰
350.9	重み無し	337.1	増加	減少	過剰	330.1	重み無し	(317.5)	増加	減少	過剰
対数変換	重み付き	337.8	増加	減少	過剰	対数変換	重み付き	(317.3)	増加	減少	過剰
349.9	重み無し	337.4	増加	減少	過剰	330.1	重み無し	(317.5)	増加	減少	過剰

ケンサキイカ

ケンサキイカは主に大井浦と宇津支店を除く8支店で漁獲され、漁獲金額は最大時には5億円を超えたが、近年は2億円近くに減少している(図4)。この8支店合計の沿岸いか傘漁業の経営体数は2002～2014年度の間にはほぼ1/3程度まで減少している(図5)。

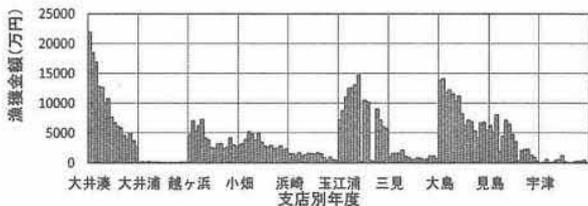


図4 ケンサキイカの漁協支店別漁獲金額(2002～2017年度)

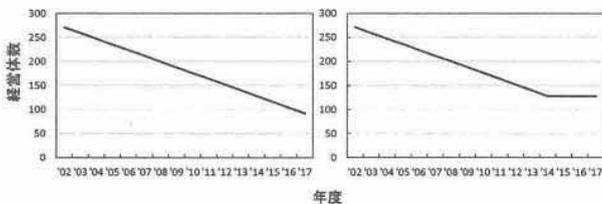


図5 大井浦と宇津支店を除く8支店合計の沿岸いか傘漁業経営体数。左：Case1, 右：Case2。

重回帰分析の結果、各計算結果のAIC値を表3に示す。表から、Case1ではすべての計算結果が有意でないが、Case2ではすべてが有意で、有意とされた中では解析結果に相違がない(表4左)。そこでAIC値が最小の無変換・

表3 ケンサキイカの各計算結果で最小のAIC値。

	Case1			Case2		
****	無関係	重み付き	重み無し	無関係	重み付き	重み無し
無変換	239.0	(240.1)	(239.9)	241.2	237.7	237.5
対数変換	240.3	(241.3)	(238.9)	241.9	238.1	237.8

重み無しの結果を採用した。選択された変数は経過年数の3乗だけで、経営体数の項は選択されなかった。重相関係数は0.553でやや低い。これは、総漁獲量とともに経営体数の減少も大きいいため、回帰変動の誤差変動に対する割合が低いことによる。この計算結果を図6に示す。

これから、経営体当たり漁獲量は2008年度以降に次第に減少が大きくなったが、合計漁獲量の変化に比べると大きくはなく、合計漁獲量の減少には経営体数減少の影響が大きいことが分かる(左図、中左図)。この変動を経営体数項と現存量項に分解すると、経営体数項に変化はなく、現存量項が2008年度以降に減少している(中右図)。したがって、2007年度頃までの合計漁獲量の減少は主に経営体数の減少により、2008年度以降の減少はこれに現存量の減少が加わったものといえる。経営体数項と経営体数の関係はないので、経営体数が増えれば合計漁獲量も増える可能性がある。

2002～2017年度と2002～2016年度の解析結果の要点を表4に示す。ただし、Case1の結果は有意でないのでCase2の結果だけを示した。これから、2017年度と2016年度の結果の要点は異なるが、2016年度の結果はすべて有意ではないので、2017年度の結果の方が信頼できる。

Case1の結果が有意でないのは経営体数の変化が直線的なことによるもので、今後のデータの追加によって有意となる可能性がある。これについては考察で述べる。

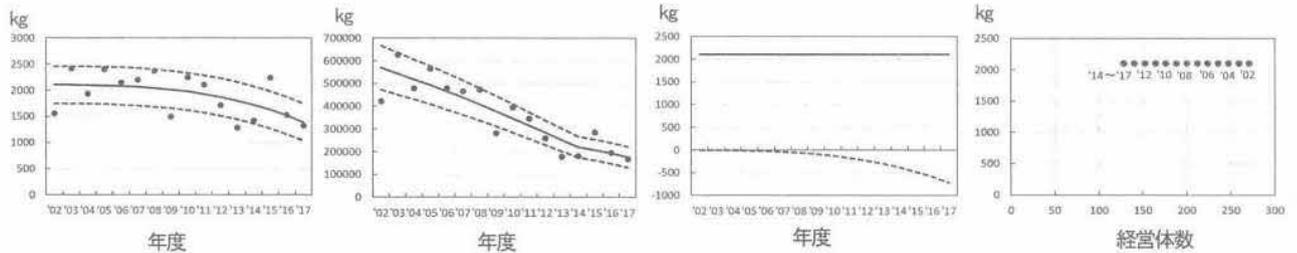


図6 ケンサキイカの解析結果 (Case2)。左：実線は経営体当たり漁獲量の回帰式，点線は標準偏差を示す。中左：実線は合計漁獲量の回帰式，点線は標準偏差を示す。中右：実線は経営体数項，点線は現存量項を示す。右：経営体数項（縦軸）と経営体数（横軸）の関係。●は実現値。

表4 ケンサキイカの2002～2017年度(左)と2002～2016年度(右)の計算結果の比較。左端の数値は関数関係がない場合のAIC値，()は5%水準で統計的に有意でないことを示す。

Case2	重み	AIC	経営体数項	現存量項	経営体数
無変換	重み付き	237.7	不変	減少	無関係
241.2	重み無し	237.5	不変	減少	無関係
対数変換	重み付き	238.1	不変	減少	無関係
241.9	重み無し	237.8	不変	減少	無関係

Case2	重み	AIC	経営体数項	現存量項	経営体数
無変換	重み付き	(223.6)	減少	不変	過少
225.2	重み無し	(223.7)	減少	不変	過少
対数変換	重み付き	(224.4)	減少	不変	過少
226.2	重み無し	(224.6)	減少	不変	過少

あまだい類

あまだい類は主に大井湊，越ヶ浜，小畑，玉江浦，見島支店で漁獲され，漁獲金額は3億円を超える(図7)。

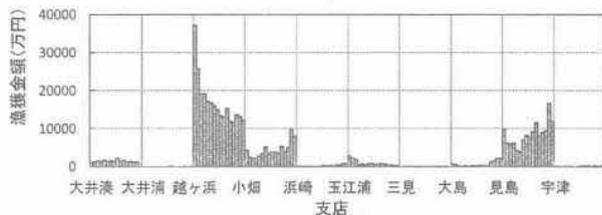


図7 あまだい類の漁協支店別漁獲金額(2002～2017年度)。

主な漁業種類は小型底びき網とはえ縄漁業と考えられる。この5支店合計の経営体数は2002～2008年の間に半減し，2009年以降も減少が続いている(図8)。

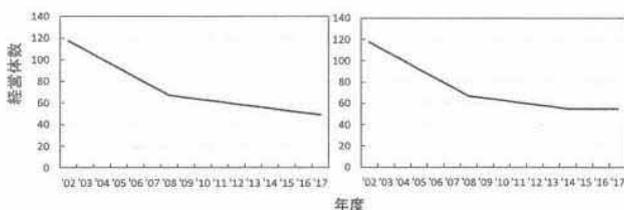


図8 大井湊，越ヶ浜，小畑，玉江浦，見島支店合計の小型底びき網，はえ縄漁業経営体数，左：Case1，右：Case2。

重回帰分析の結果，AIC値は表5のようになり，各Caseともに対数変換・重みなしの場合が最小かつ有意であった。また，Case1については各場合の計算結果に相違がなかったが，Case2では無変換と対数変換との間に相違

がみられた(表6左)。しかし，無変換のAIC値は明らかに高いので，ここではいずれもAIC値が最小の結果を採用した。選択された説明変数は，Case1では経営体数とその逆数および経過年数，Case2では経営体数の逆数と経過年数及びその2乗で，重相関係数はそれぞれ0.845と0.787であった。

図9から，回帰式はいずれも実現値の変動をよく再現している。この変動を分解すると(中右図)，経営体数項は2002年度以降に増加する一方，現存量項は減少している。これから，2002～2006年度の間は漁獲量の減少は現存量項の減少が経営体数項の増加を上回ったため，2007年度以降の増加は経営体数項の増加が現存量項の減少を上回ったためといえる。したがって近年の漁獲量の増加は現存量の増加ではなく，経営体当たり漁獲率の増加による可能性がある。その結果，どちらのCaseでも経営体数と経営体数項の関係は負であり，経営体数は漁獲量増加を図る上では過剰といえるかも知れない。

2017年度と2016年度の結果の要点を比較すると(表6)，2016年度の有意でないCase2の無変換・重み付きの結果が異なるだけである。したがって2017年度の追加データにより統計的信頼度が高くなったといえる。

表5 あまだい類の各計算結果で最小のAIC値。

	Case1		Case2			
	重み付き	重み無し	重み付き	重み無し		
***	無関係	無関係	無関係	無関係		
無変換	256.2	(241.9)	(244.7)	252.3	243.3	245.8
対数変換	252.6	236.2	235.7	249.6	(241.0)	240.8

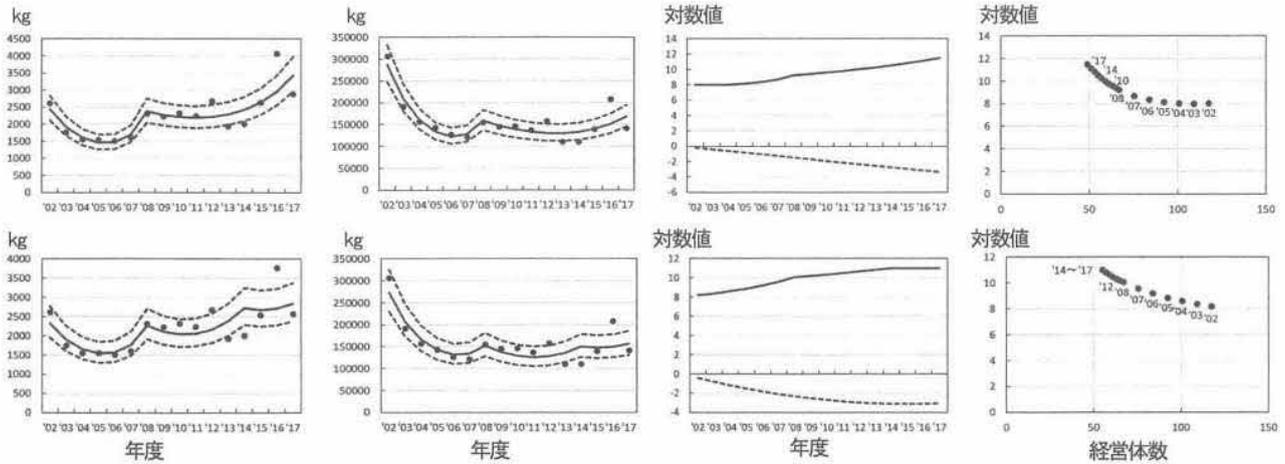


図9 あまだい類の解析結果。左：実線は経営体当たり漁獲量の回帰式，点線は標準偏差を示す。中左：実線は総漁獲量の回帰式，点線は標準偏差を示す。中右：実線は経営体数項，点線は現存量項を示す。右：経営体数項（縦軸）と経営体数（横軸）の関係。上段はCase1，下段はCase2，いずれも経営体数項と現存量項は対数値を示す。●は実現値。

表6 あまだい類の2002～2017年度(左)と2002～2016年度(右)の計算結果の比較。左端の数値は関数関係がない場合のAIC値，○は5%水準で統計的に有意でないことを示す。

Case1	重み	AIC	経営体数項	現存量項	経営体数
無変換	重み付き	(240.1)	増加	減少	過剰
256.2	重み無し	(239.9)	増加	減少	過剰
対数変換	重み付き	241.3	増加	減少	過剰
252.6	重み無し	238.9	増加	減少	過剰

Case2	重み	AIC	経営体数項	現存量項	経営体数
無変換	重み付き	243.3	減少→増加	不変	過剰
252.3	重み無し	245.8	→一定	増加	無関係
対数変換	重み付き	(241.0)	増加→一定	減少→一定	過剰
249.6	重み無し	240.8	増加→一定	減少→一定	過剰

Case1	重み	AIC	経営体数項	現存量項	経営体数
無変換	重み付き	(223.2)	増加	減少	過剰
240.3	重み無し	225.2	増加	減少	過剰
対数変換	重み付き	(218.5)	増加	減少	過剰
236.2	重み無し	218.4	増加	減少	過剰

Case2	重み	AIC	経営体数項	現存量項	経営体数
無変換	重み付き	(227.8)	増加→一定	減少→一定	過剰
237.3	重み無し	229.8	不変	増加	無関係
対数変換	重み付き	(226.1)	増加→一定	減少→一定	過剰
234.3	重み無し	(226.2)	増加→一定	減少→一定	過剰

水産庁の水産資源評価との比較

水産庁は毎年我が国周辺水域における主要な水産資源の資源評価を行い，結果を公表している。上の解析結果との比較のため，これに用いられている対馬暖流系群マアジ，日本海・東シナ海系群ケンサキイカ，日本海南西～九州西岸海域あまだい類の公表データから上の解析結果と重なる年度の値を図10に示す。ただしマアジとケンサキイカは海区別漁獲調査と各種の資源生物学的調査，さらにマアジではコホート解析も加えて推定された資源量または現存量，あまだい類は山口県，福岡県，佐賀県，長崎県，熊本県合計の漁獲量を示す。これらの変動傾向を示すため，図中にはこの年度区間でAICが最小の線形多項回帰式（マアジとあまだい類は2次式，ケンサキイカは有意な関係無し）を示した。資源評価によれば，マアジの水準は中位で直近5年間の動向は増加，ケンサキイカは低位で横ばい，あまだい類は低位で増加とされている。上に述べたあじ類の解析結果の現存量項の変動はこの評価とほぼ一致するといつてよい（図10左）。ケンサキイカの推定現存量（図10中）には傾向変化がみられないが，合計漁獲量では2～3割減少しており，この期間の漁獲量の減少は主に経営体数の減少によるとする上述の解析結果と一致する。あまだい類の評価も解析結果のあまだい類のCase2の現存量項の変化とほぼ一致しており，総じて解析結果と水産庁の資源評価に矛盾はない。

カは有意な関係無し）を示した。資源評価によれば，マアジの水準は中位で直近5年間の動向は増加，ケンサキイカは低位で横ばい，あまだい類は低位で増加とされている。上に述べたあじ類の解析結果の現存量項の変動はこの評価とほぼ一致するといつてよい（図10左）。ケンサキイカの推定現存量（図10中）には傾向変化がみられないが，合計漁獲量では2～3割減少しており，この期間の漁獲量の減少は主に経営体数の減少によるとする上述の解析結果と一致する。あまだい類の評価も解析結果のあまだい類のCase2の現存量項の変化とほぼ一致しており，総じて解析結果と水産庁の資源評価に矛盾はない。

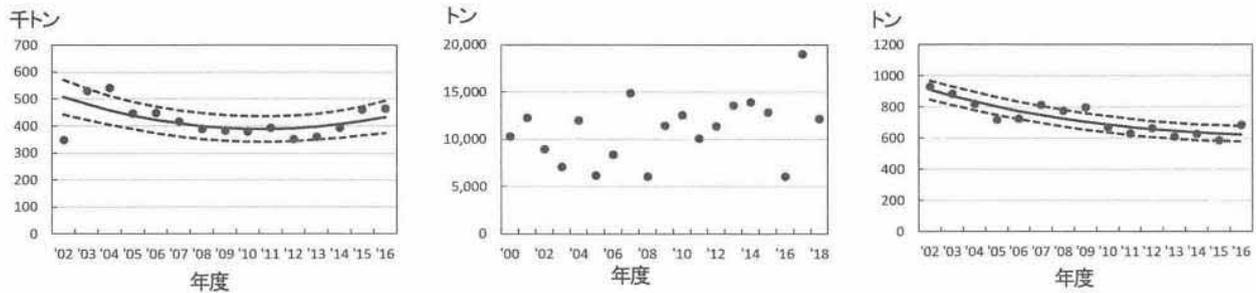


図 10 水産庁の資源評価による 3 魚種の資源または現存量の推定値または漁獲量の経年変化とその回帰式。●は資源評価に用いられている値、実線は回帰式、点線は標準偏差を示す。左：マアジ資源量推定値。中：ケンサキカ現存量推定値。右：あまだい類 5 県合計の漁獲量。

考 察

1 回帰式の前提条件の現実性

重回帰分析の目的変数を経営体当たり漁獲量としたのは、経営体数と経過年数の連成項を避けるためである。また、独立した二つの関数の和としたのは線形手法を用いるためである。その結果、得られた回帰式から経営体数と経営体数項の関係や現存量の変化について重要な情報の得られることを示した。

しかしこの回帰式は経営体数項と経営体数の関係が年度によって変わらないことを前提としている。この前提が成り立つ根拠は必ずしも明らかではないが、多くの解析例で重相関係数が 0.7~0.9 以上の統計的に有意な回帰式が得られ、誤差を含む全変動の 50~80% がこの回帰式で説明できることが示されたことは、この前提が現実的であることを示す。このように経営体当たり漁獲量の変動が現存量項と経営体数項の 2 要因でよく説明できることは、経営体当たり漁獲量が資源量(現存量)指数とはならないことを意味する。なぜなら、経営体当たり漁獲量の経年変化率が現存量の変化率と一致するのは経営体当たりの漁獲率が一定の場合で、その場合この解析では経営体数項は一定になるはずだからである。ケンサキカの解析例がそれにあたるが、多くの解析例では経営体数項と現存量項はともに変動する。零細業者が多く現存量に限りある沿岸漁業では現存量と経営体数は相互に影響し、それに伴って経営体当たり漁獲率も変化すると考えるのが自然である。したがって沿岸漁業の資源評価では、漁獲量の変化を現存量と経営体数の変化に分ける解析は欠かせない。

2 合計経営体数を用いる問題点

多くの魚種は複数の漁業種類によって漁獲されている。漁業種類によって漁獲効率は大きく異なるから、異なる漁業種類の経営体数を単純に合計することに問題があることは明白である。しかし、異なる種類のデータでも、単純な合計によってある種の傾向が出現し、その傾向を解析することで重要な情報を抽出できることもある。それに意味があるかどうかは結果から判断すればよい。将来は漁獲効率を考慮した合計の方法も考える必要がある。

3 AIC によるモデルの選択と解の安定性

ここでは、誤差分布の 4 つの仮定それぞれについて、 $f(x)$ と $g(t)$ に含まれる変数のすべての組み合わせで AIC が最小となる回帰式を選択した。しかしそれは新年度の追加データによって変わることがある。次にその理由を考える。

線形回帰分析は、変数の各項目を軸とする多次元空間内で、データの点群に次数が 1 低い超平面を当てはめる方法である。このとき、特定の 2 変数の関係が直線に近くなると平面が定まらず、僅かなデータの変動によって結果が大きく変わる(共線性)。実際、萩市の沿岸いか釣り漁業の経営体数の推移は直線に近い。

共線性による解の不安定性は、回帰係数の推定値とその推定標準偏差の比(t 値)の絶対値が小さいことでもわかるから、AIC 値が低くてもその回帰式は選択すべきではない。AIC 値では偶然の可能性は否定できないからである。回帰式の選択は、まず回帰係数と分散比の検定結

文献

- 1) 中川 徹・小柳義夫 (1982) : 最小二乗法による実験データ解析. 東京大学出版会, 東京, pp. 55-93.

果から、全ての検定結果が有意な式を選択し、その中で AIC 値が低い式を選択すればよい。この場合も値の差に基準はないから、全ての場合の解析結果を吟味して、多少の AIC 値の差があっても解析結果の相違に重要な意味があれば、その結果も除外すべきではない。また、共線性の影響の表れ方はデータによって様々であるから、経営体数の変化が直線的な場合、前年度の結果との比較等、回帰式を選択は慎重に行う必要がある。

4 繰り返し計算法の収束判定と収束しない場合の処理

繰り返し計算による重み付き最小二乗法を用いる場合、各回帰係数と重みは繰り返しの度に変化する。そこでプログラム内では収束判定の条件として、すべての回帰係数と重みの相対変化が 10^{-7} 以下となるように設定した。したがってこれらの有効桁数は約 7 桁である。この場合、回帰式と実現値の重み付き平均値が偶然一致する場合や、繰り返しの途中で回帰式が 0 に近くなる場合、繰り返しが収束しなくなる。その場合は、計算誤差は除外して観測誤差だけで計算を行うか、あるいは重み無しの計算に切り替えて計算を続行する。これまでの解析例では、そのような場合の計算結果の AIC 値は大きくなるので、最終結果に影響はない。

萩市の漁業生産額の減少理由を明らかにするために、利用可能な漁獲データから多くの情報を抽出する帰納的手法を試みた。その結果、魚種別漁獲量の変動を経営体数に関わる項と現存量（または来遊量）に関わる項に分解すればより単純な変動で表され、変動要因について多くの情報が得られることを示した。しかし、現実はもっと複雑な可能性がある。たとえば、経営体数の減少理由が現存量の減少であるかもしれない。ここでは要因間の連成は考慮できないので、この点は別途検討が必要である。

謝辞

この研究で用いた萩市の漁獲データは、すべて萩市水産課のご厚意によりご提供いただいたものである。長年にわたり貴重なデータの集積に努められた職員の方々のご労苦に深甚なる敬意と謝意を表す。

山口県における淡水魚類・十脚甲殻類の生物地理、水系、 およびセグメントスケールでの分布パターン

畑間俊弘・浜野龍夫*1・齋藤 稔*2

日本生物地理学会会報 (2018), 72, 141-199.

山口県において、生物地理的、水系、およびセグメントスケールでの淡水産魚類・十脚甲殻類の分布パターンを解析し、その成立要因について検討した。1991~2015年にかけて、山口県内の瀬戸内海側 28水系 188河川 477地点、日本海側 25水系 97河川 236地点で採集および環境データの収集を行った。調査の結果、魚類 32科 103種、十脚甲殻類 5科 15種を確認し、このうち汽水性、および周縁性種、国外、および国内外来種、人為放流由来の地点単位での出現を除いた非通し回遊種 40種、通し回遊種 34種を対象とし、在・不在データとして扱った。調査河川を大規模河川、中・小規模河川に分類し、水系単位で出現データを集計した上で、河川規模別、非通し回遊種と通し回遊種別にそれぞれクラスター分析を行った。また、非計量多次元尺度構成法 (NMDS) を用い、水系単位、および 1 組以上の瀬淵を有する地点単位で、それぞれ、種の出現パターンと環境要因の関係を解析した。非通し回遊種では、山陽、山陽~山陰、山陰の 3 地域に地理的分布が区分された。これら 3 地域の魚類相形成においては、古瀬戸内水系との接続状況、中国山地を超えた河川争奪、および最終氷河期以降の地誌的な変化の影響が大きいと考えられ、シマドジョウ属各種の分布パターンが各地域型を指標していた。通し回遊種では、内海と外海の 2 地域に分けられ、暖流の影響の強弱に加え、海域の閉鎖性と陸域の地形が生物相を左右すると考えられた。水系単位では、河川規模と河床勾配、および緩流域の有無が出現パターンの主要な軸であった。非通し回遊種と通し回遊種の出現河川の全般的な特徴は異なり、Bc 型の河床型を持つ水系では前者が、小規模あるいは平均勾配が大きい水系では後者が出現する傾向が示された。非通し回遊種では、中・小規模河川のクラスター分析から 5 つの河川の型が示された。型ごとに氾濫原代替地、緩流域、明瞭な瀬淵構造、渓流域という 4 つの環境の有無が異なり、それぞれの環境に対応する種群が出現することで生物相が成立していた。セグメントスケールでは、海からの離れ具合 (河口からの距離・標高・堰堤の数と高さ) と河相 (河床勾配・礫サイズ) から出現パターンが説明された。非通し回遊種は緩勾配な下流域、および中流から上流にかけて広く出現し、通し回遊種は海に近い地点、および急勾配な地点に出現する傾向が示された。河道横断構造物は中・上流域や圃場周辺の緩流域への通し回遊種の進出を制限する一方、下流域において、その後背に形成される湛水域が一部非通し回遊種の重度な生息場として機能していた。得られた結果に基づき、山口県における淡水産魚類・十脚甲殻類の保全の在り方についても議論した。

Key words: Biogeography; Stream size; Diadromy; River capture; River morphology; NMDS; Cluster analysis

*1 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

*2 徳島大学生物資源産業学部水圏教育研究センター

Effect of salinity on interspecific competition between the dinoflagellate *Alexandrium catenella* and the raphidophyte *Heterosigma akashiwo*

渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* とラフィド藻 *Heterosigma
akashiwo* との種間競合に及ぼす塩分の影響

Yasuhiro Yamasaki*¹, Masaaki Fujita*¹, Shuichi Kawano*²,
Toshinori Baba

山崎康裕・藤田正明・川野秀一・馬場俊典

Aquatic microbial ecology (2018), 81, 73-82.

We investigated the effect of salinity on interspecific competition between the dinoflagellate *Alexandrium catenella* and the raphidophyte *Heterosigma akashiwo* using bi-algal cultures under several culture conditions. When initial cell densities of *A. catenella* and *H. akashiwo* were both 1×10^2 cells ml^{-1} at salinity 30, the growth of *H. akashiwo* was strongly suppressed by *A. catenella*, and no intact *H. akashiwo* cells were observed. In contrast, the growth of *A. catenella* was suppressed when initial cell densities of *A. catenella* and *H. akashiwo* were 1×10^2 and 1×10^4 cells ml^{-1} . In addition, growth of *H. akashiwo* in bi-algal cultures with *A. catenella* under cell-contact conditions was significantly inhibited, whereas growth of *H. akashiwo* was not inhibited by *A. catenella* in non-contact culture conditions. Furthermore, live-cell-mediated hemolytic activity of *A. catenella* was detected, but no hemolytic activity was detected in *A. catenella* culture filtrate. In contrast, growth of *A. catenella* was significantly inhibited by 50 to 100 $\mu\text{g ml}^{-1}$ of a crude extract, including allelochemicals, from *H. akashiwo* culture filtrate. Therefore, salinity and interspecific interactions via allelopathy and/or cell contact might be important factors determining the growth dynamics of *A. catenella* and *H. akashiwo* in the field.

著者らはさまざまな条件で2種の藻類を培養することにより渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* とラフィド藻 *Heterosigma akashiwo* との種間競合に及ぼす塩分の影響を調べた。塩分濃度 30 で *A. catenella* と *H. akashiwo* の初期細胞密度を共に 100 細胞/ml としたとき、*H. akashiwo* の生育は *A. catenella* によって強く抑制され、*H. akashiwo* の無傷細胞はまったく観察されなかった。対照的には *A. catenella* の生育は *A. catenella* と *H. akashiwo* の初期細胞密度が 100 および 10000 細胞/ml のときに抑制された。また、*H. akashiwo* の生育は *A. catenella* との接触培養条件下では有意に阻害されたが、非接触培養条件下では *A. catenella* によって阻害されなかった。さらに、*A. catenella* の生細胞性の溶血活性が調べられたが、*A. catenella* 培養濾過液に溶血活性は認められなかった。対照的に、*A. catenella* の生育は *H. akashiwo* の培養濾過液からの他感物質を含む 50-100 $\mu\text{g/ml}$ の粗い抽出物によって有意に抑制された。ゆえに、塩分および種間相互作用は他感作用または細胞接触を経て野外における *A. catenella* 及び *H. akashiwo* の生育過程を決定する重要な要因になるであろう。

Key words: Allelopathy; Cell contact; Hemolytic activity; Growth inhibition; *Heterosigma akashiwo*; *Alexandrium catenella*; Bi-algal culture

*1 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産大学校

*2 国立大学法人 電気通信大学

紅藻カイガラアマノリの糸状体の生長，球形細胞，単列藻体
および初期の葉状体形成における温度特性

Water temperature characteristics in growth of filamentous
thallus and formations of spherical cell, uniseriate and foliose
thallus of *Pyropia tenuipedalis* (Miura) Kikuchi et Miyata

阿部真比古*・村瀬 昇*・中江美里*・中山冬麻*・中川昌大*・鹿野陽介
Mahiko Abe, Noboru Murase, Misato Nakae, Toma Nakayama, Masahiro
Nakagawa, Yosuke Shikano

Journal of National Fisheries University (2018), **66** (2), 81-88.

We investigated the water temperature characteristics in growth of filamentous thallus and formations of spherical cell, uniseriate and foliose thallus of *Pyropia tenuipedalis* with culture experiments. Optimal growth of filamentous thalli was observed at 20°C. Moreover, optimal water temperatures in formations of spherical cells, uniseriate and foliose thalli were 20°C, 15-20°C and 15°C, respectively. Optimal water temperatures of each life stage were different. At 10°C, the formations to uniseriate and foliose thalli were suppressed. At 25°C, almost of all thalli has caused morphological abnormalities. Furthermore, changing to 15°C from 20°C was promoted for forming to uniseriate and foliose thalli. It was thought that bad harvest in 2012 was resulted from suppressing of formation to uniseriate and foliose thalli at the condition of less than 10°C. The present results are able to contribute for improvement of the seedlings production techniques in *P. tenuipedalis* mariculture and prediction of the development time of the mariculture plates in the waters.

著者らはカイガラアマノリ培養時の糸状体の生長，球形細胞，単列藻体および葉状体の形成における水温特性を調べた。糸状体の最適生長は 20°C で観察された。さらに，球形細胞，単列藻体および葉状体の形成における最適水温はそれぞれ 20°C，15-20°C および 15°C であった。各生活期における最適水温は異なっていた。10°C では単列藻体および葉状体の形成は抑制された。25°C ではほとんどすべての葉状体が形態異常を起こした。さらに，15°C から 20°C への昇温は単列藻体および葉状体の形成を促進した。2012 年の不作は 10°C 以下の条件で単列藻体および葉状体の形成が抑制されたためと考えられた。本結果はカイガラアマノリ養殖における種苗生産技術の改良と海域における養殖プレートの育成期間の予測に貢献することができる。

Key words: *Pyropia tenuipedalis*; Filamentous thallus; Foliose thallus; Spherical cell; Uniseriate thallus; Water temperature

カイガラアマノリの葉状体の生長に及ぼす温度の影響
Influence of temperature on the growth of red alga
Pyropia tenuipedalis thalli

村瀬 昇*・阿部真比古*・福留 慶*・中川昌大*・鹿野陽介
Noboru Murase, Mahiko Abe, Kei Fukudome, Masahiro Nakagawa and
Yosuke Shikano

Journal of National Fisheries University (2018), **66** (4), 215-220.

This study was designated to clarify the optimal temperatures for growth in uniseriate thalli and foliose thalli *Pyropia tenuipedalis* in the laboratory culture at 5°C interval from 10°C to 25°C or 30°C. The optimal temperature of uniseriate thalli which used two-cell stage developed from a spherical cell were 15°C and 20°C. And, the optimal temperature of foliose thalli which used young blade with the length about 6 cm was 15°C. It was suggested that these optimal temperatures of uniseriate and foliose thalli were related to the reduction of water temperature from autumn to winter.

本研究はカイガラアマノリの単列藻体および初期の葉状体を 10°C から 25°C または 30°C まで 5°C 間隔で室内培養し生長に最適な水温を解明しようとしたものである。球形細胞から発達した 2 細胞分裂期を用いた単列藻体の最適水温は 15°C と 20°C であった。また、葉長 6cm の幼葉体を用いた初期葉状体の最適水温は 15°C であった。単列藻体および初期葉状体のこれらの最適水温は秋から冬の水温低下と関係していることが示唆された。

Key words: *Pyropia tenuipedalis*; Foliose thallus; Growth; Optimal temperature; Uniseriate thallus

山口県水産研究センター研究報告 第16号

2019年2月発行

編集・発行者 山口県水産研究センター

〒759-4106 山口県長門市仙崎 2861-3

TEL: 0837-26-0711 FAX: 0837-26-1042

E-mail: a16402@pref.yamaguchi.lg.jp

<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a16500/uminari/uminari-top.html>

外海研究部 (同上)

内海研究部 〒754-0893 山口市秋穂二島 437-77

TEL: 083-984-2116 FAX: 083-984-2209

E-mail: a16403@pref.yamaguchi.lg.jp
