

## アワビ類およびサザエ資源の長期変動とその要因

早川 淳<sup>1†</sup>, 山川 卓<sup>2</sup>, 青木一郎<sup>2</sup>

## Long-term fluctuation in the abundance of abalone and top shell in Japan and factors affecting those fluctuations

Jun HAYAKAWA<sup>1†</sup>, Takashi YAMAKAWA<sup>2</sup> and Ichiro AOKI<sup>2</sup>

We studied the trend of long-term fluctuation in the abundance of abalone and top shell catch in Japan and examined the relationship of those long-term fluctuations with global climate change. Trend of fluctuation index (TFI) was derived from time-series of yearly catch in five sea areas around Japan by removing the dependence of amplitude of catch fluctuation on its level and calculating the slope of regression line at each year. Approximately two decadal scale fluctuations were found in TFI of each resource. There were significant positive correlations between TFI of three abalone species (*Haliotis discus discus*, *H. gigantea*, *H. madaka*), which inhabit in four sea areas influenced by the warm currents, and moving means of Aleutian Low Pressure Index (ALPI). In two sea areas along the coast of the Pacific, TFI of these three abalone species was positively correlated also with that of agar, red algae belonging to the Gelidiaceae. In contrast, TFI of *H. discus hannai*, which inhabits in one sea area influenced by the cold current, was negatively correlated with ALPI or TFI of agar. We could not find any coherent relationship of TFI of top shell, *Turbo (Batillus) cornutus*, with ALPI or TFI of agar. The results of this study suggest the possibility of the influence of global climate change to the long-term fluctuation in the abundance of rocky shore resources, which have been thought to be “local” stocks, and of the difference of such influences among species.

**Key words:** abalone, top shell, ALPI, climate change, long-term fluctuation

## はじめに

アワビ類およびサザエは日本における最も重要な磯根資源の一つである。日本全国における大型アワビ類の漁獲量は、1970年の6,466トンピークとして現在まで減少を続けている。寒流域に生息するエゾアワビ *H. discus hannai* の漁獲量は1990年代後半から増加傾向に転じているものの、暖流系大型アワビ類（クロアワビ *H. discus discus*、マダカアワビ *H. madaka*、メガイアワビ *H. gigantea*）の漁獲量は依然として低水準のままである。これに対し、サザエ *Turbo (Batillus) cornutus* の漁獲量は、1980年代に大きな減少が認められたが、1990年代半ば以降は全国で1万トン前後と安定している。しかし、地域的に見ると、サザエには大きな漁獲量変動が認められ、これは卓越年級群の発生によるも

のであることが知られている（葭矢ほか 1990）。アワビ類やサザエの漁獲量を増加、あるいは安定化させるために種苗放流などを含めた様々な方策が採られてきたが、それらの繁殖生態、初期生態に関する知見の不足もあり、十分な効果が上げられていない。

これまでの研究において、沖合域に広く分布する漁獲対象種の資源変動とアリューシャン低気圧やエルニーニョなどの地球規模の気候変動との関係性が調べられており、気候—海洋生態系の基本構造が段階的・不連続的に転換するレジームシフトと呼ばれる現象によって浮魚資源の資源量が大きく変動することが解明されてきている（川崎 2003; 杉本ほか 2001）。レジームシフト現象は、その時間的・空間的スケールの大きさから、回遊する浮魚資源だけでなく底魚資源などにも影響を及ぼすことが知られている（二平ほか 2003）。このため、海洋生態系に属する多様な生物が大規模な気候変動の影響を受けている可能性がある。

本研究では、沿岸岩礁域に分布するアワビ類およびサザエ資源の長期的な変動傾向を海域ごとに明らかにすることを目的とした。また、アワビ類およびサザエ資源の長期変動の要因を検討するため、それらの長期変動と大洋規模の

2006年9月6日受付, 2007年1月5日受理

<sup>1</sup> 東京大学海洋研究所

Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 1-15-1 Minamidai, Nakano, Tokyo 164-8639, Japan

<sup>2</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科

Graduate School of Agriculture and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan

<sup>†</sup> jhayakawa@ori.u-tokyo.ac.jp

気候変動や海藻群落の変動とを比較した。

方法

磯根資源の変動傾向

農商務統計表（1904～1923年）、農林省統計表（1924～1952年）、漁業養殖業漁獲統計表（1953～1962年）、漁業養殖業生産統計年表（1963～2000年）から、アワビ類（1904～2000年）、サザエ（1915～2000年）、テングサ類（1904～2000年）の都道府県別漁獲量データを得た。統計表の形式変更などによりデータには欠損が存在する。また、漁獲量の桁が違うなど明らかに異常値であると思われるデータは除去した。太平洋戦争が原因と考えられる1940年代の大幅な漁獲量減少の影響を除くため、1941年から1950年までのデータを除いた。後述する日本周辺海域の海区分けにおいて、エゾアワビの生息域と暖流系大型アワビ類の生息域が分かれたため、アワビ類についてはエゾアワビと暖流系アワビ類を分けて解析し、考察を行った。

漁獲量は社会的、経済的要因による影響を受けること、変動の大きさ自体が漁獲量水準に影響を受けることなどの理由から、漁獲量の変動が資源変動を正確に反映しているとは通常は考えられない。このため、以下の手順によって各磯根資源の漁獲量の時系列データを基準化し、資源の中・長期的な変動傾向を求めた。

(1) 漁獲量変動の水準依存性の除去

漁獲量の変動は様々な要因に影響を受ける。そのひとつに、漁獲量の変動の大きさが漁獲量自体の多寡に影響されることが挙げられる。一般に、漁獲量が高水準にあるときには漁獲量変動が大きく、漁獲量が低水準にあるときは変動が小さい傾向がある (Fig. 1)。このような漁獲量変動の水準依存性を有する生の漁獲量データと、資源変動に影響を与える可能性のある環境要因の変動傾向とを比較すると、環境要因が資源変動に与える影響が一定の場合でも、漁獲量水準が高い時には漁獲量の変動が大きいため、環境要因が資源変動に与える影響が大きく見えてしまう。一方、漁獲量水準が低い時には漁獲量の変動が小さいために、環境要因が資源変動に与える影響が小さく見えてしまう。このような漁獲量変動の水準依存性を除去するため、ここでは中村・上野 (2002) に従い漁獲量データのべき乗変換を行った。各年度のべき乗変換後の漁獲量  $C'_t$  と翌年のべき乗変換後の漁獲量  $C'_{t+1}$  の差を求め、これを二乗して各年の漁獲量変動の大きさ  $V_t$  とした。

$$V_t = (C'_{t+1} - C'_t)^2$$

$$C'_t = C_t^\beta$$

ここで  $\beta$  はべき乗変換に用いたべき乗数である。漁獲量データの存在する全都道府県のべき乗変換後の漁獲量  $C'_t$  の時系列値と漁獲量変動  $V_t$  の時系列値の相関を求め、この

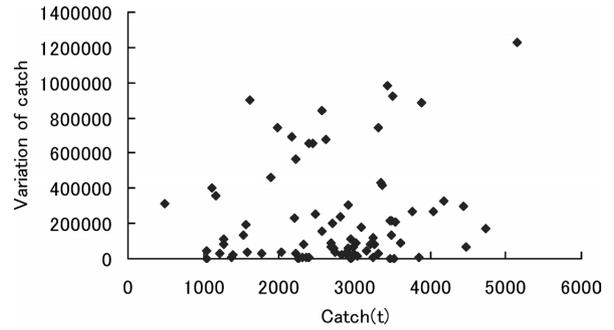


Figure 1. Relation between annual catch and its variation of top shell in prefectures along the Pacific coast in Japan. When  $C_t$  represents the annual catch at time  $t$ ,  $(C_{t+1} - C_t)^2$  represents the variation of catch at time  $t$ .

Table 1. Values of power  $\beta'$  to transform the catch data of each rocky shore resource to minimize the correlation between transformed catch and its variation.

	Value of power $\beta'$
Abalone	0.231
Top shell	0.298
Agar	0.279

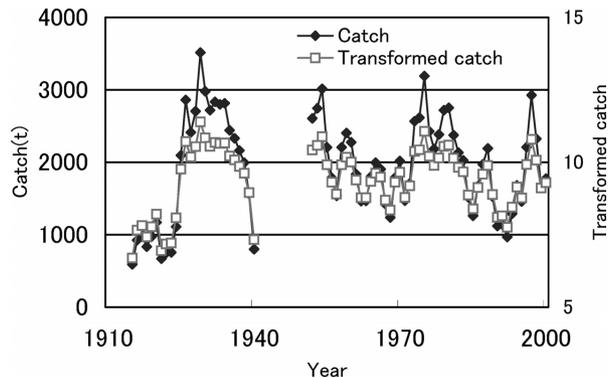


Figure 2. Comparison of fluctuation between annual catch and that transformed by the power method, for top shell catch in Shizuoka Prefecture.

相関係数が0に最も近くなるようなべき乗数  $\beta'$  をアワビ類とサザエについて求めた。各磯根資源の漁獲量データについて求められたべき乗数を Table 1 に示す。それぞれの漁獲量データの各年における漁獲量の値を  $\beta'$  乗することにより、漁獲量変動の水準依存性を除去した。これにより社会的、経済的な原因によって生じる漁獲量の多寡が漁獲量変動の大きさに与える影響を最小化すると共に、環境要因の変動傾向との比較解析に適した時系列を得ることができ、漁獲量時系列データとそれから漁獲量変動の水準依存性を除去した時系列との対比を例として Fig. 2 に示す。

(2) 漁獲量時系列データにおける短期トレンドの傾きの計算

漁獲量の変動傾向を求めめるため、変動の水準依存性を除去した漁獲量時系列データにおいて、各年での前後5年間を含めた期間内（計11年間）における回帰直線の傾きを全ての年について求め、得られた時系列データを各磯根資源の変動傾向（以下、TFI; Trend of Fluctuation Index）とした。漁獲量時系列データの端部である最古年、最新年、および1940年代のデータ中断の前後の5年間は、その年の過去5年または後5年の漁獲量データが存在しない。このため漁獲量時系列データの端部におけるTFIは11年未満（6~10年）の期間における回帰直線の傾きから求められている。11年未満のデータのみから求められたTFIが、11年のデータから求められたTFIと比べて、変動傾向を過大に評価する可能性が考えられた。しかし、これらのTFIを除いて、後述の様なTFIと他の時系列データとの比較を行った場合でも、その解析結果はほとんど変化しなかった。このため、漁獲量時系列データの端部およびデータ中断の前後におけるTFIの扱いが、時系列データ間の変動傾向の比較結果におよぼす影響は軽微であると考えられた。

TFIの時系列データにおいてTFIの値が大きい場合は資源の増加傾向が顕著であること、すなわち資源の変動傾向に影響を与える加入率や生残率が高い状態にあることを意味している。一方、TFIの値が小さい場合は資源の減少傾向が顕著であること、すなわち加入率や生残率が低い状態にあることを意味している。TFIを求めて比較することで、種や都道府県による漁獲量水準の違いに左右されずに資源の変動傾向を比較することができる。さらに、TFIを求めることで、資源の変動傾向と環境要因の変動傾向とを直接的に比較することが可能となる。また、約10年という期

間における変動を扱うことによって、短期的な変動の影響が緩和される。水準依存性を除去した漁獲量時系列データとTFIとの対比を例としてFig. 3に示す。

統計年表の海区分けを基に日本周辺海域を複数の海区に分類し、海区ごとに含まれる都道府県の漁獲量を合計してTFIを求めた。都道府県別のアワビ類、サザエおよびテンゲサ類のTFIの類似性を、時系列データの変動の類似性を検出するDynamic Factor Analysis (Zuur *et al.* 2003), および各都道府県のTFI間の相関係数を用いたクラスター分析によって予備的に調べた。この解析結果とアワビ類、サザエおよび海藻類の分布を併せて検討した結果、統計年表の大海区における北海道区と太平洋北区を併せた「太平洋北区」、太平洋中区に相当する「太平洋東区」、太平洋南区に鹿児島県を含めた「太平洋西区」、鹿児島県と沖縄県を除いた東シナ海区と日本海西区および石川県を含めた「日本海西区」、日本海北区から石川県を除いた「日本海北区」

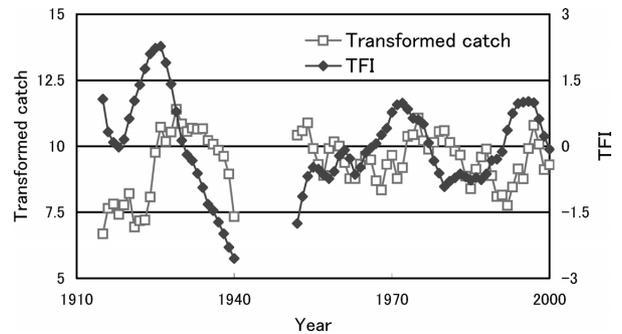


Figure 3. Comparison of fluctuation between transformed annual catch and Trend of Fluctuation Index (TFI) of top shell in Shizuoka Prefecture. TFI was calculated from slopes of fluctuation of transformed catch at each year.

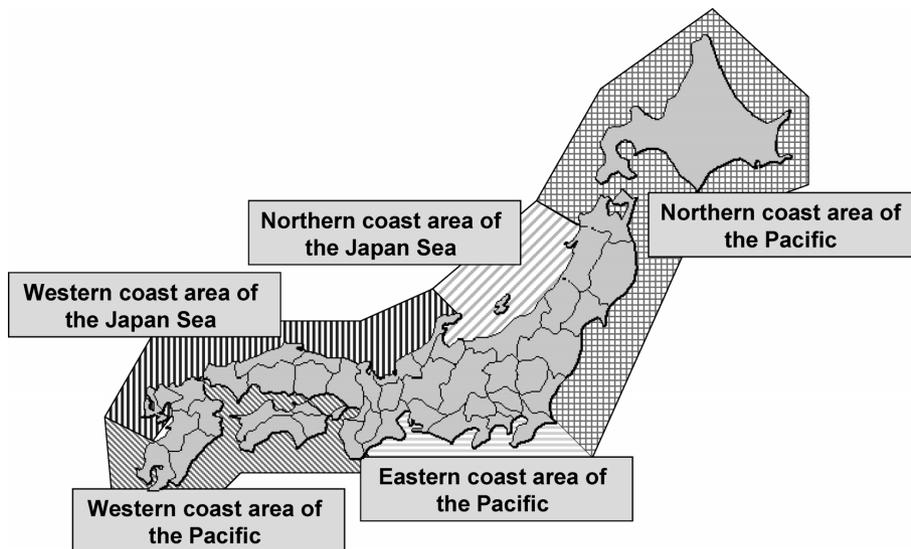


Figure 4. Classification of sea areas around Japan based on the similarity of Trend of Fluctuation Indices (TFIs) of rocky shore resources and the distribution of abalone, top shell, and marine alga species.

の5つの海区に分類した (Fig. 4)。アワビ類およびサザエの水平分布としては、太平洋北区にエゾアワビが、その他4区にクロアワビを始めとする暖流系大型アワビ類およびサザエが生息している。太平洋北区において、青森県の日本海側沿岸には暖流系大型アワビ類が、太平洋沿岸にはエゾアワビがそれぞれ生息しているが、日本海側と太平洋側の漁獲量を分離することができなかつたため、いずれもエゾアワビの分布域である太平洋北区に含めて解析を行った。一方、サザエ資源において青森県のサザエの漁獲量は日本海側がほぼ全てであるため、青森県のサザエ漁獲データを日本海北区に含めて解析した。Fig. 5に各海区におけるアワビ類の漁獲量およびべき乗変換後の漁獲量の時系列データを、Fig. 6に各海区におけるサザエの漁獲量およびべき乗変換後の漁獲量の時系列データを示した。

以上の手順によって得た各海区におけるアワビ類資源、サザエ資源およびテングサ類資源のTFIを解析に供した。大規模気候変動およびテングサ類資源の変動傾向との関係本研究では、広域に影響する大規模な気候変動の指標としてアリューシャン低気圧指数 (以下、ALPI; Aleutian Low Pressure Index) を用いた。Fisheries and Oceans Canadaのサイト ([http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/sa-mfpd/climate/clm\\_indx\\_alpi.htm](http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/sa-mfpd/climate/clm_indx_alpi.htm)) から1900年から2000年までのALPIの数値データを得た。ALPIは、北太平洋の12月から3月における100.5kPa以下の海面気圧を示す面積から求められ、正の値が高いほどアリューシャン低気圧の勢力が強いことを表している。ALPI時系列データの11年間の移動平均をとり、各磯根資源のTFIと比較した。

また、磯根資源と密接な関係があると考えられる海藻群落の変動の指標としてテングサ類資源のTFIを用いた。テングサ類は紅藻テングサ目に属するマクサ、オバクサ、オニクサなどの総称であるが、いずれの種も多年生であり、低潮線から潮下帯にかけて生息し、密な群落を形成する。テングサ類は養殖生産が無いために、ワカメ類やコンブ類のように養殖生産の増加による漁獲量減少が無いこと、全国的に分布し漁獲されていること、多年生であるためワカメ類のような一年生海藻と比べて気候変動の影響を受ける期間が長いことから、漁獲量データが存在する海藻の中では海藻群落の変動の指標として最も適当と考えた。また、テングサ類は、サザエ稚貝の好適餌料の一つであり (葭矢ほか1987; 藤井1998)、サザエ成貝に対する蝸集効果を持つとされる (藤井1998) ことから、サザエ資源の変動に影響を与える可能性が考えられる。

アワビ類およびサザエ資源のTFIと、ALPI移動平均およびテングサ類資源のTFIとの比較は、各年における前後2年間を含む期間内 (計5年間) における回帰直線の傾きを求めて得た時系列間の相関係数を単回帰で求めることによって行った。後述のとおり、アワビ類およびサザエ資源のTFIや、ALPI移動平均、テングサ類資源のTFIにはおお

よそ20年規模での周期的な変動に加えて、より長周期の数十年規模の増減トレンドが重なっているように見られる。そのような特性を持つ時系列間で単に直接的な相関分析を行った場合、短周期の変動特性が長周期の増減トレンドによってマスクされてしまい、全体の解析結果に適切に反映されない可能性が考えられる。このため本研究では、各TFIまたはALPI移動平均の増減を、局所的な5年間の回帰直線の傾きによって表現することによって、長周期の増減トレンドの影響を除くようにした。

また、各時系列の変動傾向の間にタイムラグが存在する可能性を考慮し、各磯根資源のTFIに対してALPIやテングサ類資源のTFIを-4~+4年の範囲でずらし、各移動年数における相関係数を求めた。エゾアワビ、暖流系大型アワビ類、サザエ、テングサ類それぞれにつき、生息する全海区における相関係数の和が最大または最小になる移動年数を求め、そしてその移動年数を、各磯根資源が生息する全海区における共通の移動年数として解析に用いた。相関係数の有意性の有無については、ピアソンの積率相関係数の有意性検定によって有意水準1%で検定を行った。

## 結果

**大規模気候変動およびテングサ類資源の変動傾向との関係**  
Fig. 7に各海区におけるアワビ類資源とテングサ類資源のTFIとALPI移動平均を、Fig. 8に各海区におけるサザエ資源とテングサ類資源のTFIとALPI移動平均を併せて示した。アワビ類資源とサザエ資源のTFIにおけるピーク間の年数から、両資源の変動にはおおよそ20年程度の規模の周期性があると考えられた。アワビ類およびサザエ資源のTFIや、ALPI移動平均、テングサ類資源のTFIではピーク時の数値の水準が年代によって変化しており、20年規模での周期的な変動に加えて、数十年規模のより長周期の増減トレンドが存在していると考えられた。

### (1) アワビ類

アワビ類資源のTFIの傾きの値と、ALPI移動平均およびテングサ類資源のTFIの傾きの値との相関解析の結果をTable 2に示す。表には、ALPIとテングサ類資源に関する時系列値を-4~+4年の範囲で移動させたときの最大または最小の相関係数と、その相関係数を与える移動年数を示している。太平洋北区ではアワビ類資源のTFIとALPI移動平均値との間に有意な負の相関関係が認められるが、日本海西区を除く暖流域の3海区では逆に、アワビ類資源のTFIとALPI移動平均値との間に有意な正の相関がある。生息する全海区での相関係数の和が最大または最小になる移動年数は、ALPI移動平均値に関してエゾアワビで-2年、暖流系大型アワビ類で+1年となった。アワビ類資源のTFIとテングサ類資源のTFIとの比較においては、太平洋北区では有意な負の相関関係が、太平洋東区と太平洋西区では有意な正の相関関係が認められた。日本海西区と日本

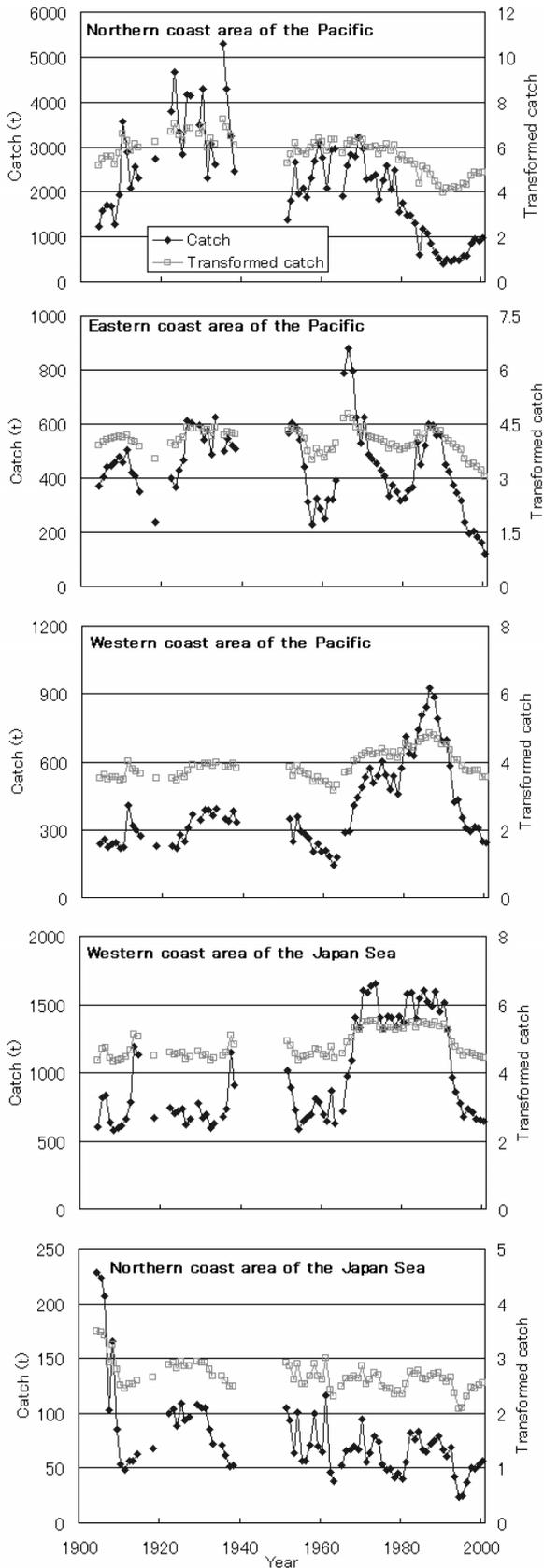


Figure 5. Time series of annual catch and that transformed by the power method for abalone in each sea area.

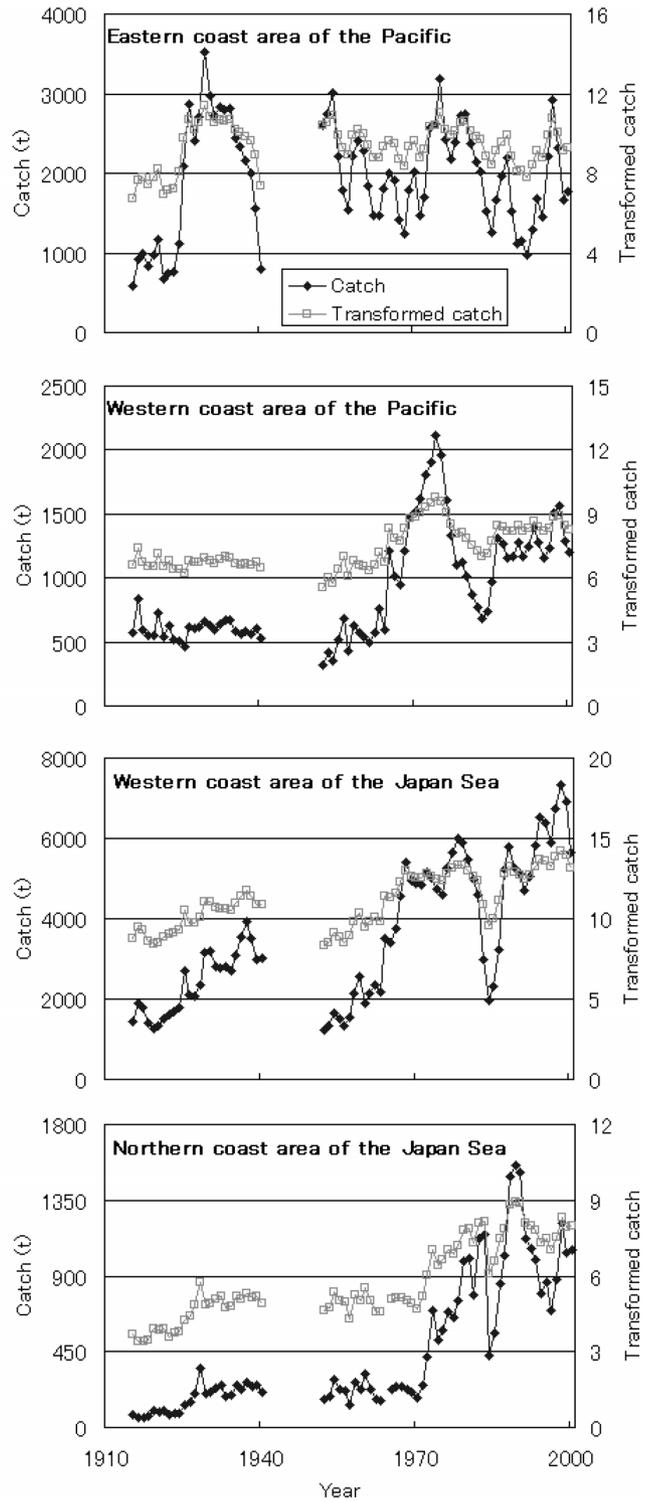


Figure 6. Time series of annual catch and that transformed by the power method for top shell in each sea area.

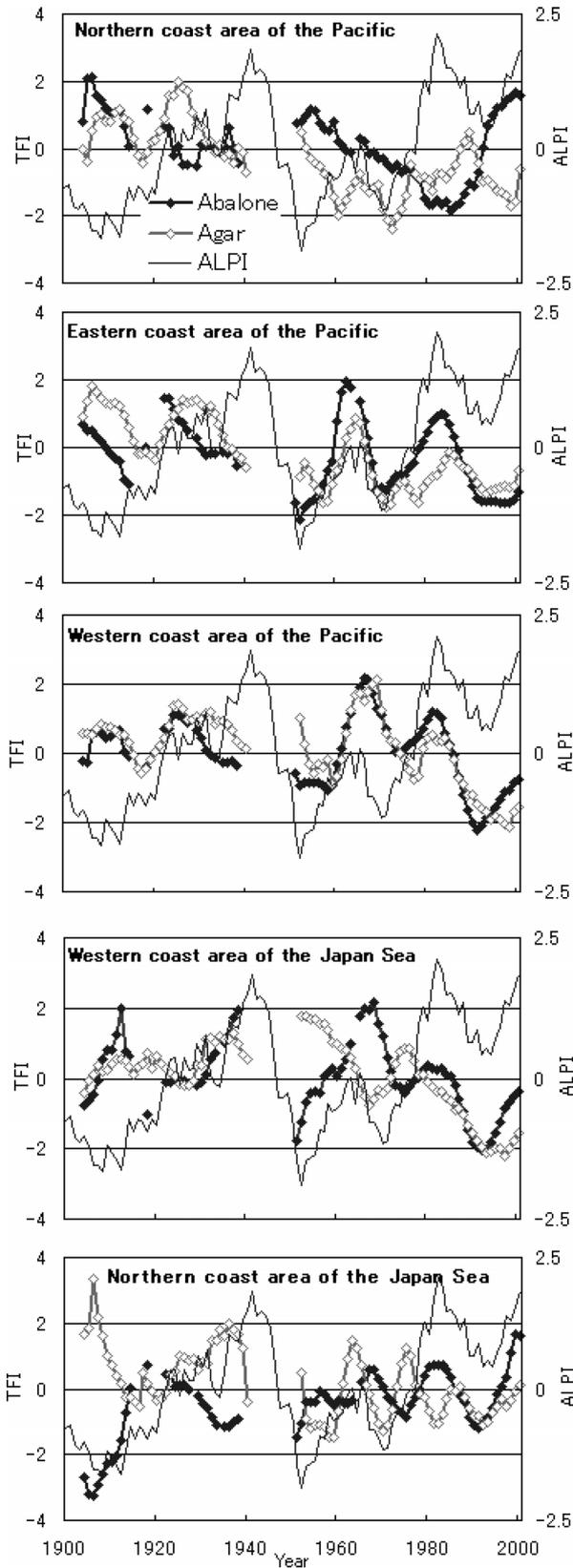


Figure 7. Comparison of fluctuation among moving mean of ALPI for 11 years, Trend of Fluctuation Index (TFI) of abalone and that of agar in each sea area.

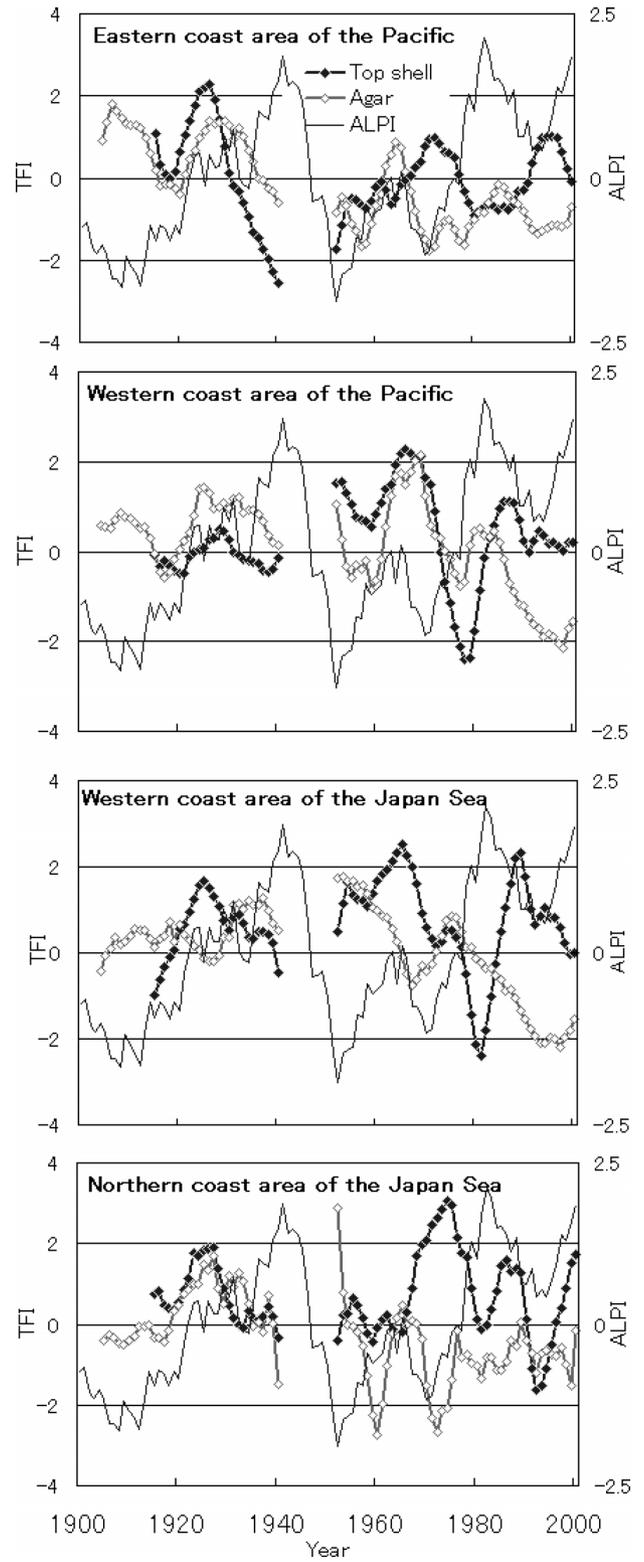


Figure 8. Comparison of fluctuation among Trend of Fluctuation Index (TFI) of top shell and that of agar, moving mean of ALPI for 11 years in each sea area.

**Table 2.** Correlation coefficients and their p-values between Trend of Fluctuation Index (TFI) of abalone and moving mean of ALPI for 11 years, or TFI of agar in each sea area. Time lag means the duration of years moved in the time series of ALPI or TFI of agar.

	-ALPI			-TFI of agar		
	r	p	Time lag	r	p	Time lag
Northern coast area of the Pacific	-0.416	<0.01	-2	-0.316	<0.01	-2
Eastern coast area of the Pacific	0.557	<0.01	+1	0.700	<0.01	+2
Western coast area of the Pacific	0.322	<0.01	+1	0.750	<0.01	+2
Western coast area of the Japan Sea	0.143	>0.05	+1	-0.156	>0.05	+2
Northern coast area of the Japan Sea	0.423	<0.01	+1	-0.264	>0.05	+2

**Table 3.** Correlation coefficients and their p-values between Trend of Fluctuation Index (TFI) of top shell and moving mean of ALPI for 11 years, or TFI of agar. Time lag means the duration of years moved in the time series of ALPI or TFI of agar.

	-ALPI			-TFI of agar		
	r	p	Time lag	r	p	Time lag
Eastern coast area of the Pacific	0.022	>0.05	+3	0.093	>0.05	-1
Western coast area of the Pacific	-0.604	<0.01	+3	0.613	<0.01	-1
Western coast area of the Japan Sea	-0.239	>0.05	+3	0.034	>0.05	-1
Northern coast area of the Japan Sea	0.040	>0.05	+3	-0.085	>0.05	-1

海北区では有意な相関関係は認められなかった。生息する全海区での相関係数の和が最大または最小になる移動年数は、テングサ類資源のTFIに関してエゾアワビで-2年、暖流系大型アワビ類で+2年となった。特に太平洋東区と太平洋西区ではアワビ類資源のTFIとテングサ類資源のTFIは強い正の相関関係にあった。太平洋側の3海区では、ALPI移動平均値との関係同様、テングサ類資源のTFIとの比較においても、太平洋北区のエゾアワビ資源とその他2海区の暖流系大型アワビ類資源の変動傾向は逆相を示した。

## (2) サザエ

サザエ資源のTFIの傾きの値と、ALPI移動平均およびテングサ類資源のTFIの傾きの値との相関解析の結果をTable 3に示す。表には、ALPIとテングサ類資源に関する時系列値を-4~+4年の範囲で移動させたときの最大または最小の相関係数と、その相関係数を与える移動年数を示している。ALPI移動平均値との比較では、太平洋西区において有意な負の相関があるものの、他の3海区では有意な相関関係は認められなかった。テングサ類資源のTFIとの比較においては、太平洋西区において有意な正の相関があるが、他の3海区では有意な相関関係は認められなかった。このように、サザエ資源のTFIに関しては、ALPI移動平均値およびテングサ類資源のTFIとの間に、一貫性のある明瞭

**Table 4.** Correlation coefficients and their p-values between Trend of Fluctuation Index (TFI) of agar and moving mean of ALPI for 11 years. Time lag means the duration of years moved in the time series of ALPI.

	-ALPI		
	r	p	Time lag
Northern coast area of the Pacific	0.211	>0.05	-2
Eastern coast area of the Pacific	0.334	<0.01	-2
Western coast area of the Pacific	0.476	<0.01	-2
Western coast area of the Japan Sea	-0.153	>0.05	-2
Northern coast area of the Japan Sea	0.195	>0.05	-2

な関係性は認められなかった。

## (3) テングサ類

テングサ類資源のTFIの傾きの値とALPI移動平均の傾きの値との相関解析の結果をTable 4に示す。表には、ALPIに関する時系列値を-4~+4年の範囲で移動させたときの最大または最小の相関係数と、その相関係数を与える移動年数を示している。テングサ類資源のTFIには、太平洋北区、日本海西区および日本海北区ではALPI移動平均値との間に有意な相関が認められなかったが、太平洋東区と太

平洋西区では有意な正の相関関係が認められた。生息する全海区での相関係数の和が最大になる移動年数は、ALPI移動平均値に関して-2年となった。

## 考察

### 磯根資源の変動傾向の抽出

中村・上野 (2002) は、漁獲量データの変動の大きさには水準依存性があり、水準依存性が十分に除去されていないデータでは資源量水準以外の要因による変動が必ずしも適正に現れない可能性があることを示した。本研究で扱ったアワビ類やサザエは年代によって漁獲量水準が大きく変化することから、漁獲量水準の影響の除去が環境要因との比較の上で重要であると考えられる。アワビ類を中心とした、既往の磯根資源の変動傾向に関する研究 (渋井 1984; 中村ほか 2005) では、漁獲量データそのものと水温などの環境要因のデータを直接比較する解析方法を用いている。このような解析方法においては、漁獲量データの水準依存性が環境要因により引き起こされた漁獲量変動の影響を不明瞭にする恐れがあるため、後述のように、両者の関係性が適正に示されなかった可能性がある。また、本研究ではべき乗変換した漁獲量の時系列データから各年での前後5年間を含めた期間内 (計11年間) における回帰直線の傾きを求め、この時系列データ (TFI) を資源の変動傾向としてALPIやテングサ類資源の変動傾向と比較した。これにより、ALPIやテングサ類資源がアワビ類資源やサザエ資源の増減に影響する可能性を、よりの確に検討できると考えた。

**大規模気候変動およびテングサ類資源の変動傾向との関係**  
太平洋北区のエゾアワビ資源および他の4海区のクロアワビなどを含む暖流系大型アワビ類資源のTFIとALPI移動平均値との間に、日本海西区を除く全海区で有意な相関関係が認められた。このことは、外洋域に生息する浮魚資源などの変動との関係性が指摘されてきた大洋規模の気候変動が、アワビ類というごく浅海域の磯根資源の変動にも影響を及ぼしている可能性が高いことを示している。しかし、暖流系大型アワビ類と同所的に分布するサザエでは、太平洋西区を除いてALPI移動平均値との有意な相関関係が認められなかった。このことから、磯根資源の種によって大洋規模の気候変動から受ける影響の程度が異なる可能性が考えられた。しかし、アワビ類資源とサザエ資源にはいずれも約20年単位での周期的な変動が認められ、ALPIなどの大規模な気候変動が20年単位で周期的に変動している (見延 2001) ことから、両資源と大洋規模の気候変動は直接的、間接的な関係を有していると考えられる。

エゾアワビのTFIではALPI移動平均値と有意な負の相関が見られた。岩手県においてエゾアワビの漁獲量増減は親潮の接岸、離岸による冬季海水温の影響を強く受けることが示唆されており (渋井 1984; 西洞 2002)、実際に冬季

海水温が低いと天然の生息場におけるアワビ稚貝の生残率が低下することが報告されている (高見 2002)。アリューシャン低気圧の勢力が強い期間には、親潮流量が増加し異常南下などが引き起こされることが知られている (関根・鈴木 1991)。太平洋北区でアワビ類資源のTFIとALPI移動平均値との間に有意な負の相関関係があることは、アリューシャン低気圧の強化に伴う同海域の冬季海水温の低下によりエゾアワビの稚貝加入量が減少するという考え (高見 2002; Kawamura *et al.* 2002) を支持するものである。中村ほか (2005) は、アワビ類の漁獲量とALPIや水温を比較することで、エゾアワビの漁獲量とALPIや岩手県宮古湾における冬季の最低水温との間に負の相関関係があることを示した。変動の水準依存性が除去されていない漁獲量データにおいても、環境要因である冬季の最低水温と有意な相関が認められたことは、エゾアワビ資源がALPIで代表される大洋規模の気候変動、およびそれによって引き起こされる沿岸域の海況変動によって極めて大きな影響を受けることを示すものと考えられる。

一方、本研究では、ALPI移動平均値とエゾアワビ資源のTFIの相関関係が最小になる移動年数は-2年であった。これはALPIによって示される冬季海水温の低下などの海況変動が、2年後のエゾアワビの加入量に最も強く影響する可能性を示しており、本種の漁獲加入年齢が4-5歳と推定されている (高橋ほか 1987) ことと整合しない。本研究で用いた解析手法は中長期的な変動傾向を比較するものであり、より短期的な物理環境の変化による影響を十分には検出できない可能性がある。このため、短期的な海況変動が影響する年数には議論の余地があるが、長期的な時間スケールではALPIの上昇はエゾアワビ資源に負の影響を与えるものであると考えられた。

暖流系大型アワビ類のTFIではエゾアワビとは逆に、ALPI移動平均値との間に有意な正の相関関係が見られた。暖流系大型アワビ類の生息する3海区においていずれもALPIとの正の相関関係が認められることは、エゾアワビと同様に資源変動が大洋規模の気候変動の影響を受けるが、そのメカニズムはエゾアワビとは異なっている可能性を示している。中村ほか (2005) の研究では、暖流系大型アワビ類の漁獲量とALPIには有意な相関関係が認められず、エゾアワビと暖流系大型アワビ類とは資源変動のメカニズムが異なっていることが示唆された。本研究において、両資源の変動傾向は逆相である可能性が新たに示された。小島 (2005) は、冬季海水温の上昇がクロアワビ稚貝の生残にマイナスに作用し、冬季海水温の低下がプラスに作用することを示した。このことは冬季海水温との関係がエゾアワビと暖流系大型アワビ類のクロアワビでは逆であることを示しており、本研究で示唆された結果と一致する。1990年代末からエゾアワビ漁獲量が増加傾向にあるのに対し、暖流系大型アワビ類の漁獲量は低迷し続けており、

本研究で示唆された大洋規模の気候変動との関係性の違いが両者の漁獲量変動の違いを生じさせている可能性が考えられる。

一方、移動年数が+1年であったことは、ALPI移動平均の変動に先行して暖流系大型アワビ類のTFIが変動し、エゾアワビとは大洋規模の気候変動との関係性が異なっている可能性を示す。しかし、後述する海藻群落の変動を介した間接的な影響が存在する可能性、および本研究で用いた中長期的な変動傾向を比較する解析手法がより短期的な物理環境の変化による影響を十分には反映しない可能性があるため、必ずしも暖流系アワビ類の資源変動が大洋規模の気候変動に1年先行しているとは考えられない。

暖流系大型アワビ類と分布域を同じくするサザエ資源のTFIでは、太平洋西区を除いてALPI移動平均値と有意な相関関係が認められなかった。サザエ漁獲量の変動と黒潮の流路変化との関係性が指摘されているが(伏見1980)、本研究ではサザエ資源の変動が大洋規模の気候変動と関係している証拠は示されなかった。しかし、4海区におけるサザエ資源のTFIにおいて、いずれの海区でも1980年代初頭に資源が強い減少傾向を示している(Fig. 6)点は興味深い。広範囲でサザエ資源の減少傾向が確認されたことは、80年代に生じた何らかの大規模な環境変化がサザエの資源変動に影響した可能性を示している。この点についてより詳細に検討するため、北半球における大洋規模の気候変動の指標の一つである北極振動指数(AO index; Arctic Oscillation index)との関係を調べた。1950年から2000年までのAO indexの数値データをNational Oceanic & Atmospheric Administrationのサイト([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/ao.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml))から得た。1980年代初頭は、北極振動指数の冬季(1~3月)平均値が急激に減少した時期に相当する(Fig. 9)。ただし、各海区におけるサザエ資源のTFIと北極振動指数の11年移動平均に有意な正の相関は認められなかった。また、他の年代には4海区すべてに共通する傾向は認められず、サザエ資源と気候変動の関係性は必ずしも明瞭でない。

テングサ類では、太平洋北区と日本海側の2海区ではALPIとの関係性が認められなかったが、太平洋側暖流域の2海区では有意な正の相関関係が認められた。黒潮や親潮の流路変化などの大規模な変動が、沿岸域の物理的環境の変化を介して、沿岸域に存在する海藻群落の種構成や面積に影響を与えることが知られている。例えば、黒潮蛇行による暖水の太平洋沿岸への接岸が海藻群落の大規模な衰退現象を引き起こすことが知られている(河尻ほか1981)。本研究でも、黒潮流域である太平洋東区と太平洋西区でテングサ類資源のTFIとALPI移動平均値の間に有意な相関関係が認められ、大洋規模の気候変動が両海区における海藻群落の変動に影響している可能性が示された。一方、同じく暖流域である日本海西区と日本海北区ではテングサ類

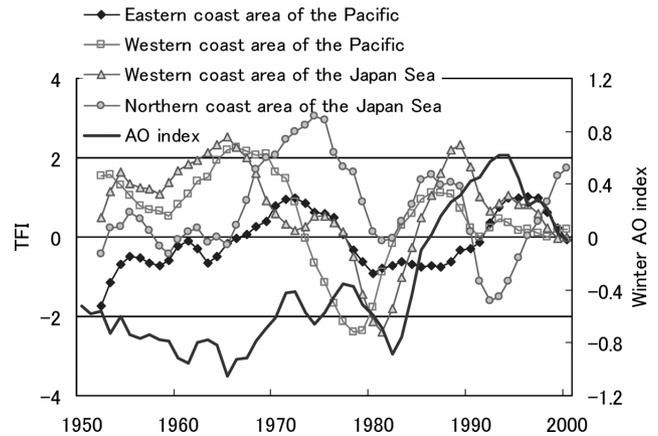


Figure 9. Comparison of fluctuation between Trend of Fluctuation Index (TFI) of top shell in each sea area and moving mean of winter AO (Arctic Oscillation) index for 11 years. Winter AO index is the average of daily AO index from January to March in each year.

資源のTFIとALPIの間に有意な相関関係が認められず、太平洋と日本海では大洋規模の気候変動と海藻群落の変動との間の関係性が異なっている可能性が示された。

テングサ類資源のTFIと太平洋東区および太平洋西区における暖流系大型アワビ類のTFIとの間に有意な正の相関関係が見られた。このことは、両海区での暖流系大型アワビ類の資源変動は、テングサ類またはテングサ類によって代表される海藻群落の変動にも影響を受けている可能性があることを示している。これに対し、日本海北区では、暖流系大型アワビ類のTFIにはALPI移動平均値と有意な正の相関関係が見られたが、テングサ類資源のTFIとは関係性が認められなかった。日本海側の2海区ではALPI移動平均値とテングサ類資源のTFIとの間にも相関関係が認められず、アワビ類の資源変動、大洋規模の気候変動および海藻群落の変動の3者の間に何らかの関係性があることを示す証拠は認められなかった。また、サザエ資源のTFIでは、太平洋西区を除き、テングサ類資源のTFIとの間に有意な相関関係が認められなかった。既往の研究(葭矢ほか1987; 藤井1998など)から、サザエとテングサ類の関係性が指摘されていたが、本研究では両者の変動の間に明瞭な関係は示されなかった。

Pyper and Peterman (1998) は自己相関のある時系列データ間の相関関係を調べる場合には、自己相関の影響を考慮した解析手法を採ることが望ましいとしている。自己相関を考慮する解析手法においては、自己相関が強いほど自由度を減少させ、有意性の検討が自己相関を考慮しない場合に比べ、より厳しくなる。本研究で扱った磯根資源のTFIやALPI移動平均値の時系列には約20年周期の変動が認められ、これらの時系列データの相関関係には自己相関の影響が存在する可能性がある。このため、本研究で示された

相関係数の有意性には検討の余地があると考えられる。Pyper and Peterman (1998) は時系列データに含まれる周期性の長短によって自己相関の適切な除去方法が異なることを示しているが、本研究で扱った磯根資源のTFIやALPI移動平均値の時系列には約20年周期の変動に加えて、より長周期の増減トレンドが混在している可能性が示唆された。このため、本研究では、異なるスケールの周期性を併せ持つ時系列データから自己相関の影響を排除することはできなかった。今後、大洋規模の気候変動や海藻群落の変動と、磯根資源の変動との関係性をより正確に検討するためには、時系列データの自己相関を考慮した解析手法を用いる必要がある。

以上のことより、エゾアワビおよび暖流系大型アワビ類の資源変動は大洋規模の気候変動の影響を直接的、間接的に受けている可能性が高いことが示された。エゾアワビでは、初期生態に関する研究が進展しており、新規加入量変動すなわち資源量変動と、気候変動との関係性が冬季海水温の変動による稚貝の初期生残率の変化で説明されている(河村・高見 2005)。しかし、暖流系大型アワビ類やサザエにおいては、特に初期生態に関する知見が不足しており、大洋規模の気候変動や海藻群落の変動に影響を受けるメカニズムを具体的に説明することは難しい。サザエ資源の変動傾向には大洋規模の気候変動や海藻群落の変動との関係性が明確には認められず、その変動要因の解明には、より局所的な海況変動など他の要素との比較が必要であると考えられる。今後、暖流系大型アワビ類やサザエについて、海藻群落との関係性なども含めて、初期生態に関する詳細な研究が進められる必要がある。

## 謝 辞

本研究に対しご指導を賜ると共に草稿の校閲をいただいた東京大学海洋研究所河村知彦准教授に深甚なる謝意を表します。

## 引用文献

伏見 浩 (1980) サザエの卓越年級群の生態と漁業。ベントス研連

- 誌, **19/20**, 59-70.  
 藤井明彦 (1998) 対馬沿岸におけるサザエの資源生物学的研究。長崎水試研報, **24**, 69-115.  
 川崎 健 (2003) 地球システム変動の構成部分としての海洋生態系のレジーム・シフト。月刊海洋, **27**, 196-205.  
 Kawamura, T., H. Takami and T. Saïdo (2002) Early life ecology of abalone *Haliotis discus hannai* in relation to recruitment fluctuations. Fisheries Science, **68**, 230-234.  
 河村知彦・高見秀輝 (2005) アワビ類の生態と加入量変動。海の生物資源, 渡邊良朗編, 東海大学出版会, 東京, 286-303 pp.  
 河尻正博・佐々木 正・影山佳之 (1981) 下田市田牛地先における磯焼け現象とアワビ資源の変動。静岡水試研報, **15**, 19-30.  
 小島 博 (2005) クロアワビの資源管理に関する生態学的研究。徳島水試研報, **3**, 1-119.  
 見延庄士郎 (2001) 同期した50年変動と20年変動がもたらすレジームシフト。月刊海洋号外, **24**, 42-49.  
 中村 藍・北田修一・浜崎活彦・大河内裕之 (2005) アワビ類の漁獲変動: エゾアワビの漁獲量と気候変動および種苗放流の関連について。栽培技研, **33**, 45-54.  
 中村元彦・上野正博 (2002) 漁獲量変動の水産依存性。水産海洋研究, **66**, 110-117.  
 二平 章・須能紀之・高橋正和 (2003) 三陸・常盤海域における底魚類のレジーム・シフト。月刊海洋, **35**, 107-116.  
 Pyper, B. J. and R. M. Peterman (1998) Comparison of methods to account for autocorrelation in correlation analysis of fish data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **55**, 2127-2140.  
 西洞孝広 (2002) 岩手県におけるエゾアワビ資源の回復とその要因。月刊海洋, **37**, 477-481.  
 関根義彦・鈴木善光 (1991) 親潮の異常南下の発生と大気大循環の変動。海と空, **67**, 212-217.  
 渋井 正 (1984) 岩手県におけるエゾアワビの生産変動と諸環境要因との関係。栽培技研, **13**, 1-20.  
 杉本隆成・木村伸吾・田所和明 (2001) エンソと気候レジーム・シフトとアジアモンスーンのカップリングおよびその生態系への影響。月刊海洋号外, **24**, 212-217.  
 高見秀輝 (2002) エゾアワビの生活史初期における食性, 生残, 成長に関する研究。博士論文, 東京大学, 東京, 218 pp.  
 高橋清孝・雁部総明・佐々木 良 (1987) 宮城県中部沿岸におけるエゾアワビの資源解析。宮城水試研報, **12**, 42-60.  
 葭矢 護・辻 秀二・道家章生・内野 憲・船田秀之助 (1990) 冠島におけるサザエ資源量の変動。京都海洋セ研報, **13**, 21-28.  
 葭矢 護・桑原昭彦・浜中雄一・和田洋蔵 (1987) 京都府青島地先におけるサザエの食性。日本誌, **53**, 239-247.  
 Zuur, A. F., I. D. Tuck and N. Bailey (2003) Dynamic factor analysis to estimate common trends in fisheries time series. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **60**, 542-552.