

定置網の漁獲動向と漁場環境の関係

舛田大作

The effect of fishing ground environmental on the catch of trap-net fishing

DAISAKU MASUDA

Trap-net are fishing gear set along the coast to catch the various fish and shellfish species. The large-scale trap-net fishing are influenced by the abundance in the fishing ground. Therefore, the catch trend of trap-net is useful information to estimate the coastal fish stocks. The primary objective of this study was to analyze how various environmental and biological factors such as the water temperature, lunar cycle, wind direction and fish abundance affect the capture efficiency of trap-net fishing. I analyzed the effect of these factors on fish catch records (1997-2013) in Fisheries Cooperative Association located on Goto islands in Nagasaki Prefecture. My analysis shows that dominant species (Dolphin fish *Coryphaena hippurus*, Pacific saury *Cololabis saira*, Japanese common squid *Todarodes pacificus* and Yellowtail *Seriola quinqueadiata*) of trap-net fishing is mainly influenced by the fish abundance and water temperature. The lunar cycle significantly affects the catches of Dolphin fish, Pacific saury and Japanese common squid, and the wind direction affects the catches of Japanese common squid and Yellowtail.

定置網は、沿岸域の一定の水面に漁具を敷設して来遊してきた魚群を漁獲するため、その漁獲は、漁場に来遊する魚群量に依存する。このことから、定置網の漁獲動向は、沿岸域に来遊する資源の動向を把握するうえで有用な情報となる。我が国周辺の水産資源は、1990年代後半以降から2010年代前半にかけて、ブリ *Seriola quinqueadiata*¹²⁾ やサワラ *Scomberomourus niphomius*³⁾、スルメイカ *Todarodes pacificus*⁴⁾、カタクチイワシ *Engraulis japonicus*⁵⁾ は、海水温の上昇に伴う生息域や産卵場の拡大などによって資源が増加した。一方、マイワシ *Sardinops melanostictus*⁵⁾ やマダラ *Gadus macrocephalus*⁵⁾、スケトウダラ *Theragra chalcogramma*⁵⁾ の資源は減少している。長崎県内の定置網でも1980年代から1994年まではイワシ類が主要な漁獲対象種であったが、1995年以降になるとイワシ類の漁獲は低迷し、それに代わってスルメイカやサンマ *Cololabis saira*、ブリ類が多く漁獲されている。⁶⁾ また、カナダニューファンド

ランド島のタイセイヨウダラ *Gadus morhua* を対象とした定置網では、沿岸域にタラ魚群が来遊して定置網で漁獲される条件として、漁場の水温が影響し、漁期中の漁場水温は定置網の漁獲の成否の一因となっている。⁷⁾

このように、水温は資源動向や回遊などに大きな影響を及ぼすことから、来遊してくる魚群を待ち受けて漁獲する定置網の漁獲についても水温の影響を受けているものと考えられる。

本研究では、日々の定置網の操業による漁獲量と操業中に観測した漁場水温のデータが集計されている定置網漁場のデータを用いて、水温等の漁場環境と定置網の漁獲動向を比較するとともに、一般化加法モデル (Generalized additive model, GAM) 解析により、定置網の漁獲に及ぼす影響を検討した。

材料と方法

漁獲データ 長崎県内の主要定置網漁場の一つである五島列島北部に位置する有川湾で操業する定置網の1997年9月から2014年5月まで(1997年漁期から2013年漁期まで)の日々の漁獲量と操業時に観測された漁場の水温データを収集した。当該定置網の漁期は8月下旬から翌年5月で、秋季はシイラ *Coryphaena hippurus*、冬季はスルメイカとサンマ、春季はブリ類が主要な漁獲対象種となっている(Fig.1)。このことから、漁獲解析には、季節毎に主に漁獲される上記4種の盛漁期を対象として、それら4種の日々の漁獲量、操業した漁場数、漁場水温を用いた(Table 1)。

データ解析 主要魚種4種の漁獲への様々な環境要因の影響を検討するために、それぞれの魚種における定置網の期待漁獲量を求める GAM 解析を行っ

た。⁸⁹⁾また、4種それぞれの定置網による漁獲データには平均値に対して大きな分散がみられることから、魚種 i (i は4魚種のうち、 i 番目の魚種を示す)の漁獲量 C_i は、負の二項分布に従うものと仮定した。

$$C_i \sim NB(\mu_i, \theta_i) \quad (1)$$

ここで、 μ_i は平均値、 θ_i は推定する分散のパラメータである。

期待漁獲量 C_i については、以下の log リンク関数のモデル式を仮定した。

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + s(temp) + s(moon) + s(wind) + \beta_1 N + \text{offset } E_i \quad (2)$$

ここで、水温($temp$)は定置網操業時に漁場で観測した水温で連続変数である。月齢($moon$)は月の輝面積比で、新月を0、満月を1として月齢の変化によって連続的に変化する。風速($wind$)は、気象庁長崎海

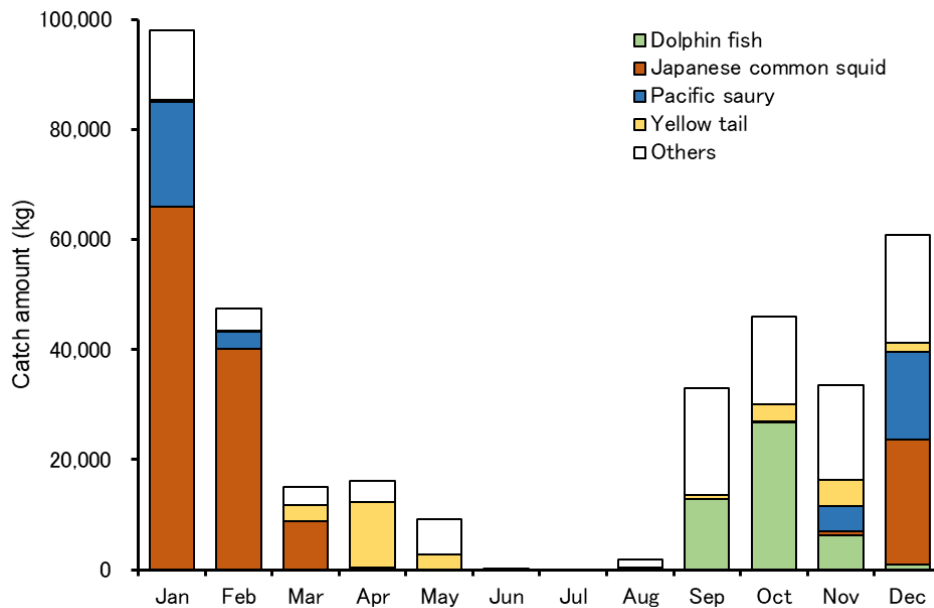


Fig.1 Monthly catch amount in the Trap-net fishery in 1997-2013 (average catch amount).

Table 1 Catch data used in the study

Species name	Season	Number of traps	Fishing days	Total catch (kg)	Average (kg/day)	SD (kg/day)
Dolphin fish	Sep-Oct	3	771	622,889	807	1,292
Japanese common squid	Dec-Mar	3	1572	2,182,555	1,388	2,675
Pacific saury	Dec-Jan	3	803	568,657	708	1,607
Yellowtail	Apr-May	1-2	840	211,624	251	835

洋気象台有川観測所における気象データから一日で最多であった風向と平均風速を求め、一日最多風向と平均風速から、南北成分のみの風速を連続変数とした。なお、北風が当該定置網の漁獲にとって良い条件だと考え、北方向を正、南方向を負の数として取り扱った。水温(*temp*)や月齢(*moon*)、風速(*wind*)の環境要因と漁獲の関係には、それぞれの変数で線形的な関係式を持つことなく、任意の変数区間ごとに異なる関係を持つものと仮定した平滑化関数 s を用いて GAM に当てはめた。また、漁期 N は年ごとに定置網漁場へ来遊する資源量が異なるものと仮定し、17 のカテゴリに分類した(table 2)。そして、日々の定置網の操業数 E_i は、操業する漁場が多いほど漁獲

は増加すると考え、漁獲量 C_i と E_i は線形関係であることを示す *offset* 項としてモデルに組み入れた。

解析には、統計解析ソフト R ver.3.0.2, *mgcv* パッケージの *gam* 関数を用い、分散のパラメータ θ のレンジを 0.1-10 に設定して解析した。それぞれの魚種について、それぞれの説明変数を単独で設定したモデルから、順にそれぞれの説明変数を組み合わせ、設定した全てのモデルのうち AIC (Akaike's information criterion) が最も小さいモデルを最適モデルとして選択した。また、最適モデルに含まれる説明変数それぞれの影響を調べるため、その説明変数を減らしたことによって変化した AIC 値の差 (Δ AIC) を求めた。¹⁰⁾

Table 2 Explanatory variables in the initial generalized additive model (GAM) with a negative binomial distribution

Species name	Explanatory variable	Category
Dolphin fish	<i>temp</i>	Continuous variable, (20.3 to 28.5)
	<i>moon</i>	Continuous variable, (0 to 1)
	<i>wind</i>	Continuous variable, (-4.1 to 8.7)
	N	17 categories(1997, ..., 2013)
Japanese common squid	<i>temp</i>	Continuous variable, (13.0 to 21.5)
	<i>moon</i>	Continuous variable, (0 to 1)
	<i>wind</i>	Continuous variable, (-6.6 to 8.1)
	N	17 categories(1997, ..., 2013)
Pacific saury	<i>temp</i>	Continuous variable, (13.6 to 21.5)
	<i>moon</i>	Continuous variable, (0 to 1)
	<i>wind</i>	Continuous variable, (-5.1 to 7.7)
	N	17 categories(1997, ..., 2013)
Yellowtail	<i>temp</i>	Continuous variable, (14.0 to 23.0)
	<i>moon</i>	Continuous variable, (0 to 1)
	<i>wind</i>	Continuous variable, (-6.0 to 7.2)
	N	17 categories(1997, ..., 2013)

結果

漁獲動向と水温、月齢、風速の影響 主要漁獲対象4種の盛漁期における日毎の漁獲量と漁場水温の関係を Fig.2 に示す。秋季の主要漁獲対象であるシイラは、9月中旬以降に漁獲され、漁場水温が 25°Cから23°Cに低下した時期に漁獲が漁期中の最大となった。冬季の12月から3月に漁獲されるスルメイカは、水温が低下する12月から2月にかけて漁獲が比較的多く、漁期中1月または2月に漁獲のピークとなり、水温が上昇に転じる3月には漁獲が減少した。また、1997年か

ら2004年までは漁期前半の12月にも大量漁獲日が見られたが、2005年以降になると12月の漁獲量が減少し、本格的な漁獲は1月以降となる年が多くなった。スルメイカと同時期に漁獲されるサンマは、漁期毎の漁獲変動が大きく、漁獲が多くなる時期や漁場水温も漁期毎に異なった。ブリ類は、漁期毎の漁獲変動が大きく、4月の漁場水温が18°C以下の時期に漁獲が最大となり、水温の上昇とともに漁獲量は減少した。

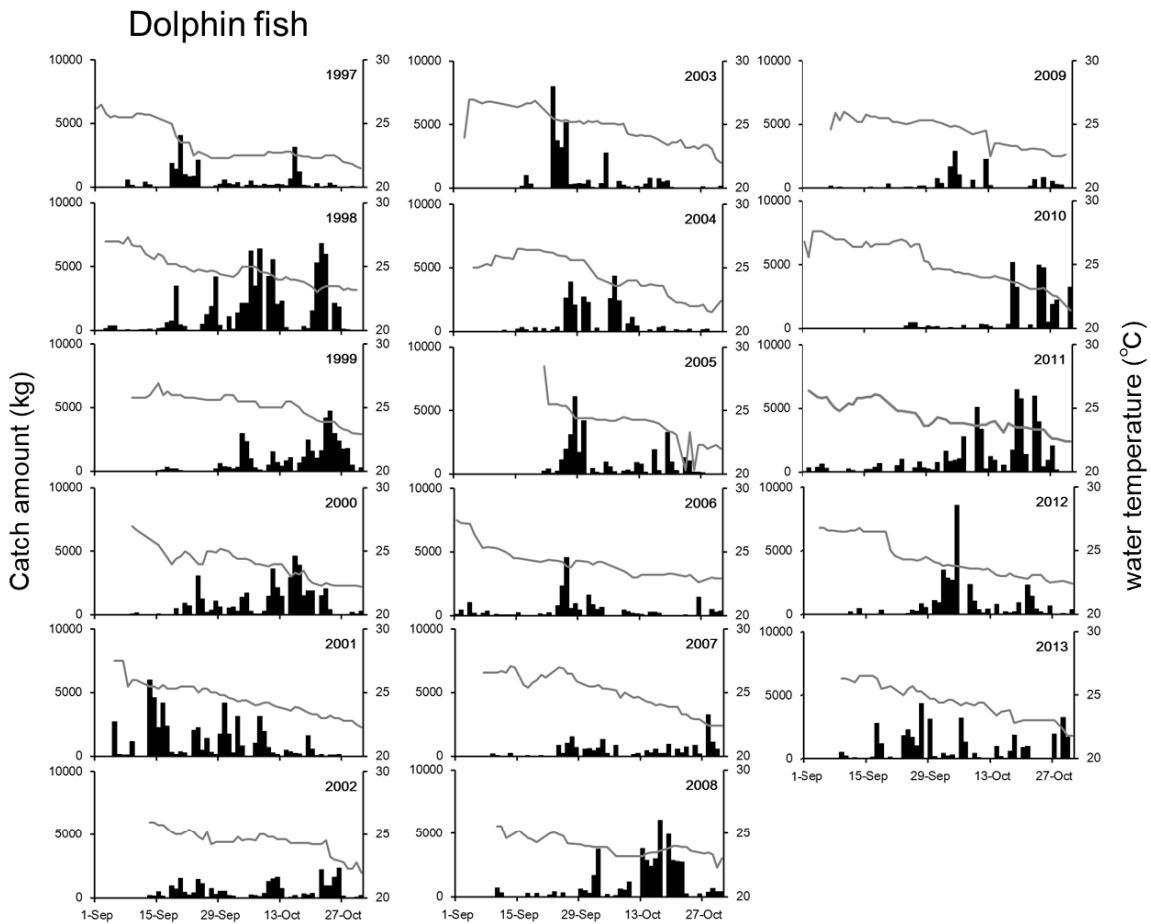


Fig.2 Catch amount of dominant 4 species and fishing ground temperature fluctuation. The lines show the temperature, and the bar graphs show the catch amount.

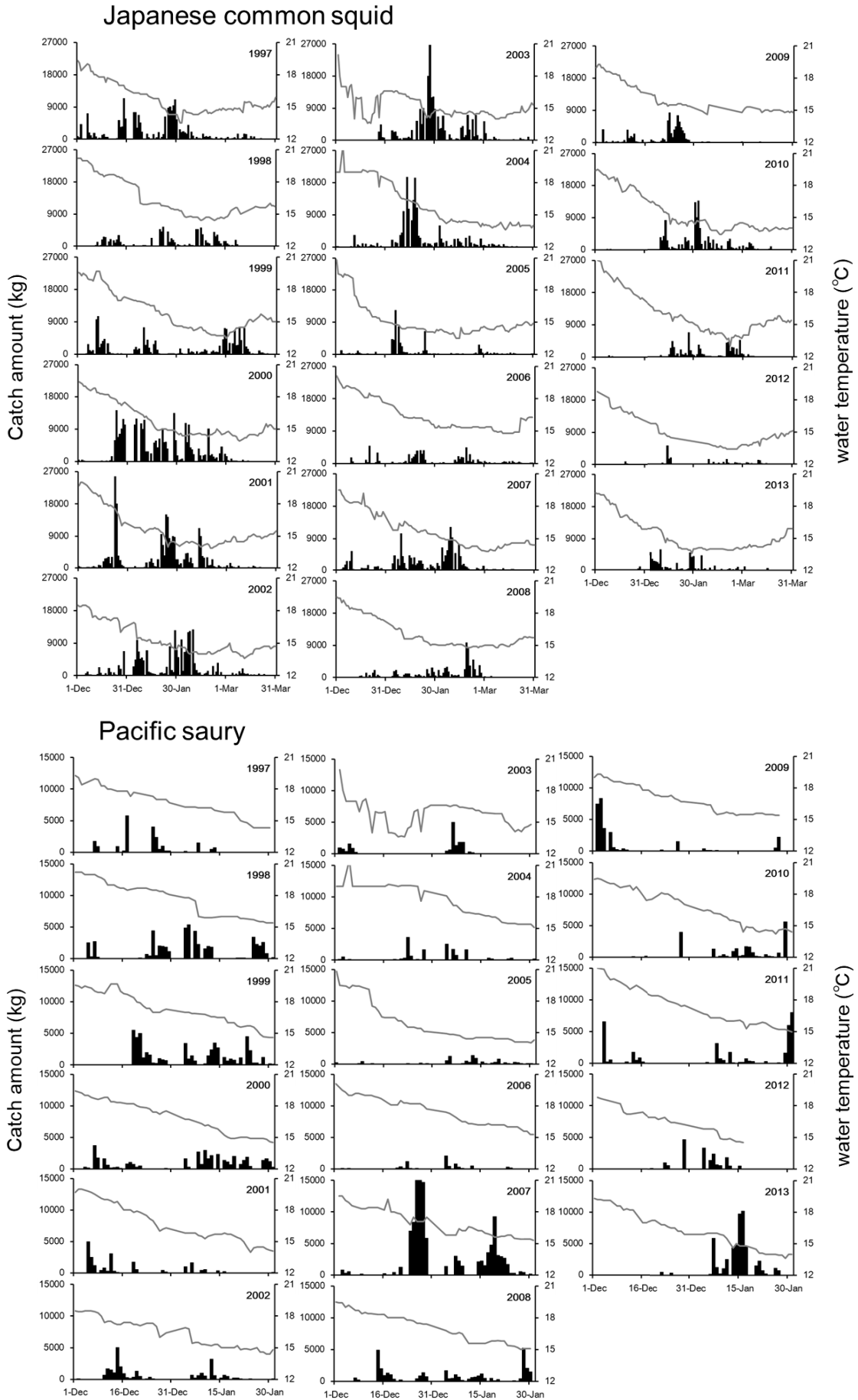


Fig.2 continued

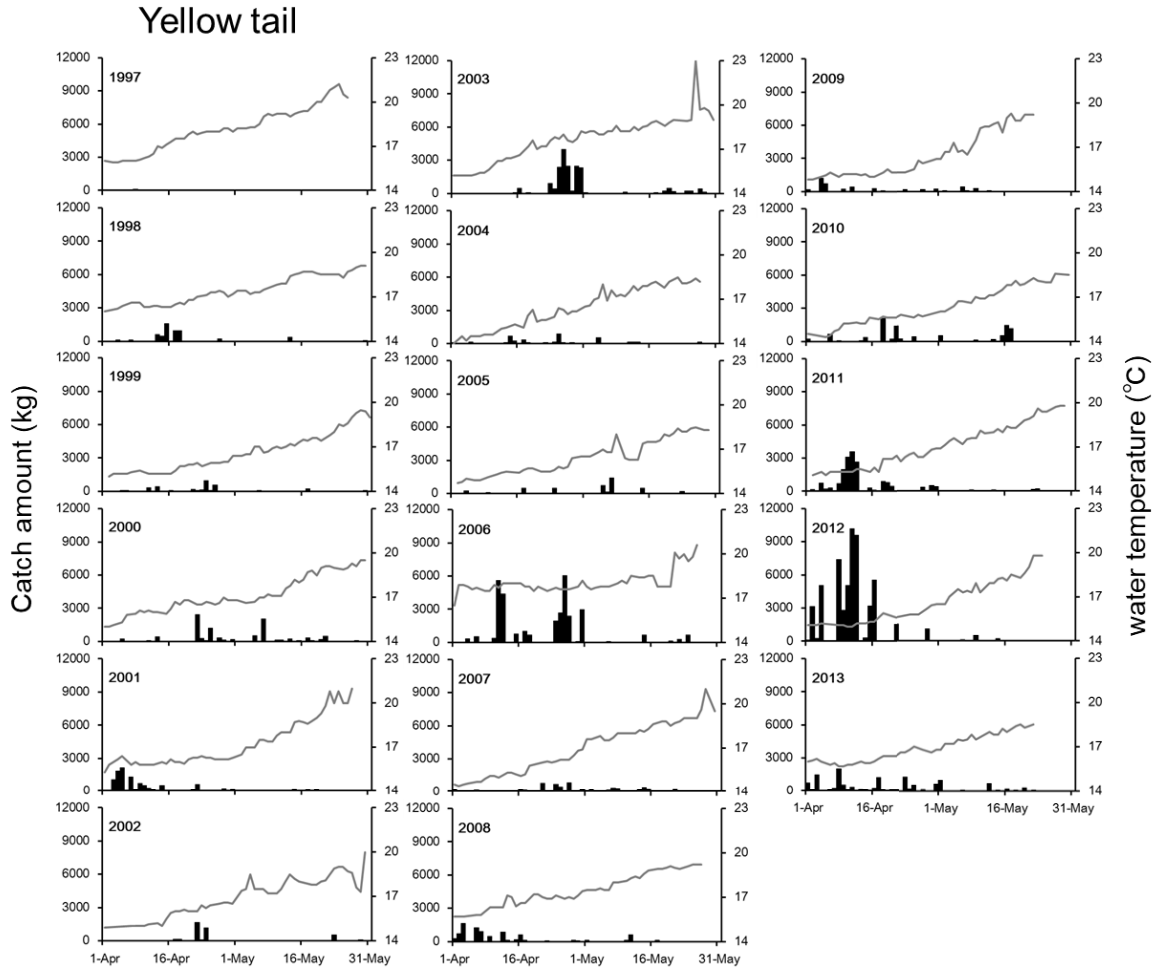


Fig.2 continued

4種の漁獲と月齢の関係は、シイラとサンマでは満月期に漁獲が多く新月期に近づくにつれて漁獲が減少し、スルメイカでは新月期に漁獲が多く満月に近づくにつれて漁獲が減少する月齢リズムが認められた(Fig.3)。一方ブリ類では月齢による漁獲の変動は認められなかった。風向と漁獲の関係は、シイラとスルメイカ、サンマでは北よりの風に漁獲が多くなる傾向がみられ、ブリ類の漁獲は風向との関係が認められなかった(Fig.4)。

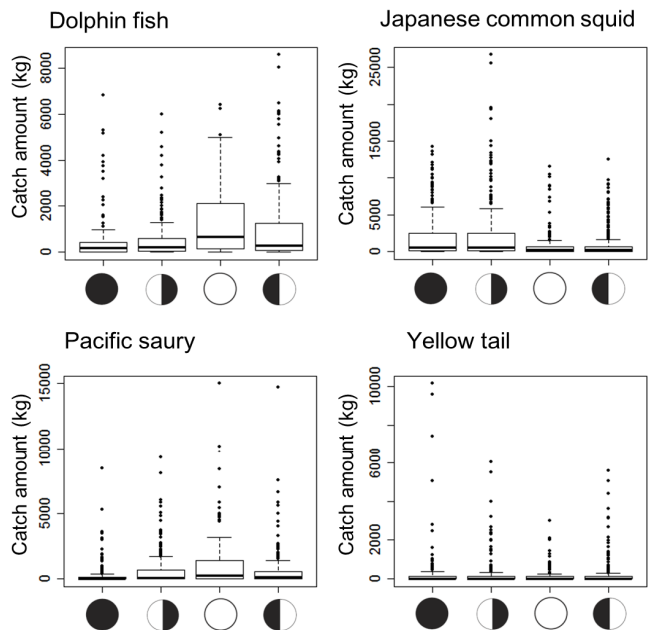


Fig.3 Variation of daily catch of dominant 4 species of by the age of the moon. The band in the box is the median values and the bottom and top of the box are the lower and upper quartiles, respectively. The ends of the whiskers the 1.5 interquartile range and plots depicted as open circle designate the outliers.

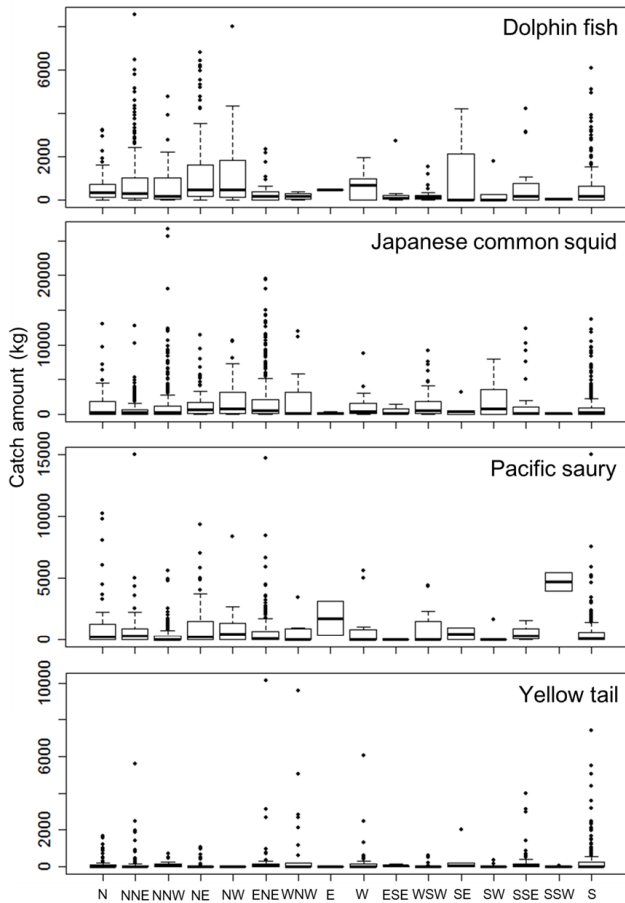


Fig.4 Variation of daily catch of dominant 4 species of by the wind direction.

漁獲モデル解析結果 GAM 解析の結果、いずれの魚種でも *temp* と *N* の影響が検出され、シイラは *temp*、スルメイカは *moon*、サンマとブリ類は *N* の影響がそれぞれの最適モデルの変数の中で最も大きく影響していた(table 3)。各魚種の最適モデルは以下のとおりである。

Dolphin fish:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + s(temp) + \beta_1 N + s(moon) + \text{offset } E_i$$

Japanese common Squid:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + s(moon) + \beta_1 N + s(temp) + s(wind) + \text{offset } E_i$$

Pacific saury:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 N + s(moon) + s(temp) + \text{offset } E_i$$

Yellowtail:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 N + s(temp) + s(wind) + \text{offset } E_i$$

moon の影響は、シイラとスルメイカ、サンマで検出され、スルメイカとブリ類では *wind* の影響もわずかに検出された。

それぞれの魚種の最適モデルから推定した漁獲量と水温の関係を Fig.5 に示す。シイラは水温 23.5°C で漁獲が最も多く、それよりも水温が高い場合、水温 25.2°C までは漁獲が比較的多い状態で推移するが、25.2°C よりも高くなると、漁獲は水温の上昇とともに低くなり、水温が 23.5°C よりも低い場合には漁獲は水温低下とともに少なくなると推定された。スルメイカは水温 14.2°C から 16.5°C にかけて漁獲が多く、それよりも水温が高い場合には水温上昇に伴って漁獲も少なくなると推定された。サンマは水温 14.9°C と 17.1°C で漁獲が最も多く、水温 14.9°C よりも低い場合や水温が 17.1°C よりも高い場合には漁獲は低下すると推定された。ブリ類は水温 15.7°C で漁獲が最も多く、それよりも水温が高い場合には漁獲は水温上昇とともに少なくなると推定された。

Table 3 Output for the selected optimal generalized additive models. Δ AIC indicates the increment in AIC if the explanatory is removed from optimum models.

Explanatory variable	Dolphin fish	Japanese common squid	Pacific saury	Yellowtail
Optimum model AIC	10900.40	23178.33	8783.21	7155.14
<i>temp</i>	Δ AIC = 56.95	Δ AIC = 78.61	Δ AIC = 4.65	Δ AIC = 43.97
<i>moon</i>	Δ AIC = 24.64	Δ AIC = 135.46	Δ AIC = 11.42	
<i>wind</i>		Δ AIC = 19.07		Δ AIC = 11.06
$\beta_1(N)$	Δ AIC = 21.11	Δ AIC = 81.02	Δ AIC = 16.50	Δ AIC = 69.52

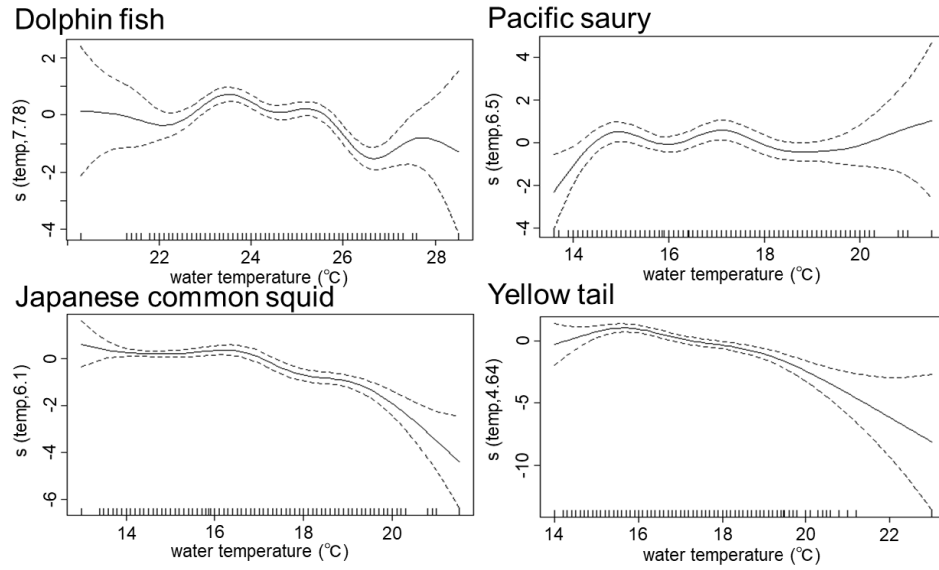


Fig.5 Relationship between expected catch amount and the temperature (*temp*) for the dominant 4 species. The response scale reflects natural log-transformation. Dotted lines represent 95% confidence intervals. A straight line represents an additive effect of zero.

次に、それぞれの魚種のもっとも適したモデルから推定した漁獲量と月齢、風速の関係を Fig.6 に示す。シイラとサンマは満月に漁獲が多くなると推定され、スルメイカは新月や北よりの弱い風の場合に漁獲が多く

なると推定された。また、ブリ類は弱い北方向からの風が吹く場合に、漁獲が多くなると推定された。

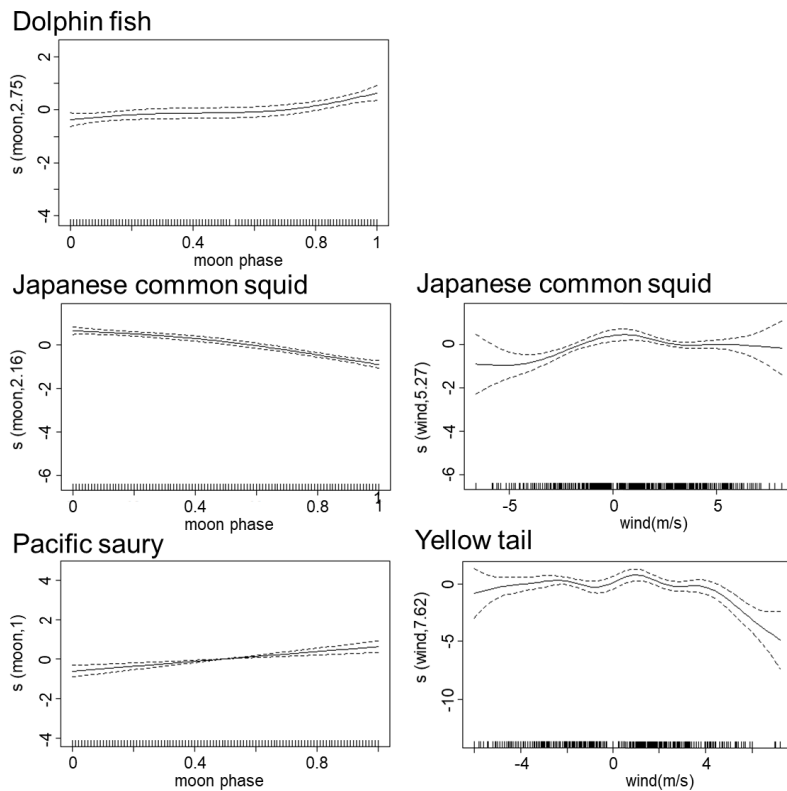


Fig.6 Relationship between expected catch amount and the ratio of the illuminating area of the moon (*moon*), wind direction (*wind*) for the dominant 4 species.

考 察

本研究で解析した定置網の主要魚種4種の漁獲は、漁場への来遊量の多寡とともに漁場水温も影響していた。その他、シイラとサンマでは月、スルメイカでは月と風、ブリ類では風の影響も受けていた。漁場に来遊してくる魚群を待ち受けて漁獲する定置網では、漁場における漁獲対象魚の現存量の多寡が漁獲量に影響することは、スルメイカ¹⁰⁾では確認されていたが、その他の主要魚種についても同様に影響していた。

漁場の水温は、定置網の日々の操業による漁獲にも影響していることが今回の解析から認められた。今回解析した定置網の秋季の主要魚種であるシイラは、日本周辺の太平洋岸や東シナ海、日本海南西の海域で、漬け木を利用したまき網で漁獲される他、定置網や延縄、曳縄でも漁獲され、シイラの漁獲量は概ね初夏から秋季の水温が高い時期に多く、¹¹⁾日本周辺では海面水温が21~30°Cの水域でシイラが漁獲されている。¹²⁾シイラの鉛直遊泳行動を調べた古川らの報告^{13,14)}では、シイラが鉛直行動する範囲は、漁場の水温躍層の深さに対応しており、水温の高い表層を遊泳し、摂餌の場合であっても水温20°C以下の低水温層を避ける。このことから、夏季に日本海に北上したシイラは、秋季になると適水温である高水温を求めて、南下する際に当該定置漁場へ来遊しているものと考えられる。冬季に漁獲されるスルメイカの産卵場は東シナ海やその周辺であり、スルメイカは、幼魚から成魚に成長する時期には摂餌のために北日本の海域まで北上し、産卵期には産卵場の東シナ海周辺まで南下する。⁴⁾スルメイカの成熟には海水温が関係しており、水温15°C以下では雌の生殖腺は発達せず、水温18°C以上で成熟する¹⁵⁾ことから、今回解析した定置網で、漁場水温14~16°C台をピークにして漁獲されるスルメイカは、成熟時期に漁場に来遊して漁獲されているものと推察される。南北に広範囲に移動するサンマについても産卵場は温暖な海域¹⁶⁾で、西日本沿岸も産卵場となっている。長崎県海域では冬季にサンマの回遊がみられ、五島海域では、入り江に来遊したサンマを漁

獲対象としたサンマ—そうひき網が1850年頃から1980年代にかけて操業されている。このことから、解析した定置網では、高水温期には餌生物が多い北の海域に索餌回遊した後、越冬や産卵のために南下してくる魚群を漁獲していると考えられる。また、対馬海峡や日本海西部に分布するブリ成魚は、産卵期になると東シナ海の陸棚海域へ移動して、約1ヶ月間産卵のため東シナ海に滞留後、再び対馬海峡や日本海に北上する。¹⁷⁾五島海域では古くから冬季から春季に漁獲されるブリを定置網の漁獲対象とし、特に春先に漁獲される産卵のために南下する大型ブリを彼岸ブリと称し、この時期に漁獲されるブリの大漁を期待する定置網業者も多い。

漁場への来遊量や漁場水温の他にも本研究では、定置網の漁獲に月や風が影響していた。月齢の周期的な影響は、シイラとスルメイカ、サンマで確認され、シイラとサンマでは満月、スルメイカでは新月にそれぞれ漁獲が多くなっている。シイラは摂餌活動以外では表層を遊泳¹³⁾しており、サンマについても表層の水深10~15mを中心に魚群が分布¹⁸⁾し、資源調査を行う場合にも表層付近を流し網や中層トロールを用いて、漁場における魚群の分布量を把握している。¹⁶⁾一方、スルメイカはシイラやサンマに比べると生息する水深が深く、昼間には海底等の深い層に分布し、夜間には中層や表層付近にまで浮上する。また、夜間に集魚灯を点灯して操業するイカ釣りでは、漁獲対象となるスルメイカ以外にもシイラやサンマも集魚灯に集まり、シイラやサンマは漁船周辺の表層付近を遊泳するのを目視で確認できる。一方、スルメイカは集魚灯の強い光を避けて船下に移動する。¹⁹⁾このことから、表層に分布するシイラやサンマに比べるとスルメイカは暗い環境を好み、満月期のように夜間にも明るい場合には、定置網漁場のような水深の浅い沿岸域への来遊が弱まる可能性がある。また、スルメイカとブリ類では、わずかながら風の影響も検出され、北向きの風で漁獲が多くなっていた。当該定置網では、北側に開けた大

きな湾が南下してくる魚群を湾内に一時的に滞留させ、南下してくる魚群を漁獲するための好適な地理的条件も併せ持ち、この地理的条件と北向きの風は、定置網による漁獲の増加に貢献しているものと考えられる。

このように今回解析した定置網の主要魚種は、高水温期に北の海域に回遊した後、越冬や産卵のために南下してくる魚群が漁獲され、それぞれの魚種が定置網で漁獲される条件として、水温などの漁場環境が影響することを明らかにした。地球温暖化が問題視される現代では、大規模な気候変動が海洋環境や海洋生態系にどのように影響するのかについて注視され、日本周辺の重要な水産資源は、気候や海洋環境の変動の影響を受けていることが明らかにされている。²⁰⁾しかしながら、本研究で示したように海洋環境の変動は、沿岸域の定置網の漁獲にも影響しており、温暖化による沿岸漁場の環境と漁場に来遊してくる資源の変化を注視するとともに、その変化に対応するための研究や知見の蓄積が望まれる。

文 献

- 1) Tian Y, Kidokoro H, Watanabe T, Igeta Y, Sakaji H, Ino S. Response of yellowtail, *Seriola quinquireadiata*, key large predatory fish in the Japan Sea, to sea water temperature over the last century and potential effects of global warming. *Journal of Marine Systems*. 2012; 91: 1-10.
- 2) 阪地英男, 横澤祐司, 田永軍. ブリ漁獲量の長期変動と近年の動向. 黒潮の資源海洋研究. 2012 ; 13 : 37-42.
- 3) 為石日出生, 藤井誠二, 前林篤. 日本海水温のレジームシフトと漁況(サワラ・ブリ)との関係. 沿岸海洋研究. 2005 ; 42(2) : 125-131.
- 4) Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh S, Goto T, Hiyama Y. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J Mar Sci*. 2000; 57: 24-30.
- 5) Tian Y, Kidokoro H, Watanabe T, Iguchi N. The late 1980s regime shift in the ecosystem of Tsushima warm current in the Japan/East Sea: Evidence from historical data and possible mechanisms. *Progress in Oceanography*. 2008; 77: 127-145.
- 6) 舛田大作. 定置網漁業の漁獲向上技術に関する研究. 博士論文. 長崎大学. 長崎. 2015.
- 7) He P, Inoue Y. Behavior of marine fishes: capture processes and conservation challenges. Wiley-Blackwell, Hoboken. 2010, 159-158.
- 8) Ortega-Garcia S, Ponce-Diaz G, O'Hara R, Merila. The relative importance of lunar phase and environmental conditions on striped marlin (*Tetrapturus audax*) catches in sport fishing. *Fish. Res.* 2008; 93: 190-194.
- 9) Drexler M, Ainsworth C.H, Generalized additive models used to predict species abundance in the Gulf of Mexico: An ecosystem modeling tool. *PIOS ONE*. 2013; 8(5): e64458.
- 10) Masuda D, Kai S, Yamamoto N, Matsushita Y, Suuronen P. The effect of lunar cycle, tidal condition and wind direction on the catches and profitability of Japanese common squid *Todarodes Pacificus* jigging and trap-net fishing. *Fish. Sci.* 2014; 80: 1145-1157.
- 11) Sakamoto R, Kojima S. Review of dolphinfish biological and fishing data in Japanese waters. *SCI. MAR.* 1999; 63(3-4): 375-385.
- 12) Palko BJ, Beardsley GL, Richards WJ. Synopsis of the biological data on dolphin fishes, *Coryphaena Hippurus* and *Corphaene equiselis* Linnaeus. *FAO Fish Synop.* 1982; 130: 1-28.
- 13) Furukawa S, Kawabe R, Ohshimo S, Fujioka K, Nishihara GN, Tsuda Y, Aoshima T, Kanehara H, Nakata H. Vertical movement of dolphinfish *Coryphaena hippurus* as recorded by acceleration data-loggers in the northern East China Sea. *Environ Biol Fish.* 2011; 92(1): 89-99.
- 14) Furukawa S, Tsuda Y, Nshihara GN, Fujioka K, Ohshimo S, Tomoe S, Nakatsuka N, Kimura H,

- Aoshima T, Kanehara H, Kitagawa T, Chiang WC, Nakata H, Kawabe R. Vertical movements of Pacific Bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) and dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) relative to the thermocline in the northern East China Sea. *Fish. Res.* 2014; 149: 86-91.
- 15) Kidokoro H, Sakurai Y. Effect of water temperature on gonadal development and emaciation of Japanese common squid *Todarodes Pacificus* (Omma strephi-dae). *Fish. Sci.* 2008; 74(3): 553-561.
- 16) Kurita y. Energetic of reproduction and spawning migration for Pacific saury (*Cololabis saira*). *Fish Physiology and Biochemistry.* 2003; 28: 271-272.
- 17) 井野慎吾, 新田朗, 河野展久, 辻俊宏, 奥野充一, 山本敏博. 記録型標識によって推定された対馬暖流域におけるブリ成魚の回遊. *水産海洋研究.* 2008 ; 72(2) : 92-100.
- 18) 和田時夫, 北方正章. サンマの中層流網による採集試験結果と昼間の行動について. *北海道区水産研究所研究報告.* 北海道. 1982 ;47 :11-22.
- 19) Shikata T, Shima T, Inada H, Miura I, Daida N, Sadayasu K, Watanabe T. Role of shaded area under squid jigging boat formed by shipboard fishing light in the processes if gathering and capturing Japanese common squid, *Todarodes pacificus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2011; 77: 53-60.
- 20) Tian Y. Impacts of climate and marine environmental changes on the long-term variability in the fish populations around Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2014; 80: 327-330.