

駿河湾深層水取水施設から採取された魚種と 対数モデル累積種数曲線による種多様性の評価

岡本一利*¹・二村和視*¹・花井孝之*¹・高瀬 進*²

駿河湾の水深397mと687mから取水している、深層水施設のスレーナーで採取された魚類について29か月間調査した。採取された魚類は6目9科14属16種であり、水深397mで5種が、687mで16種が採取された。魚種をみると、1,000m以深が生息域のナメライワシが確認された。また、水深687mで亜寒帯系の魚種であるニュードウカジカ、アラスカビクニン、ザラビクニンの3種が、駿河湾で初めて確認された。このことは、水深687mの水深帯は亜寒帯系由来の深層水であることを裏付けるものと考えられた。確認された新しい魚種数の1か月当たりの平均は、調査開始から1年までは0.92、それ以降は0.29であり、約7割の魚種が最初の1年で出現した。今回のデータを用いて、水深別に対数モデルによる累積種数曲線を求めたところ、単位時間採集に基づく累積種数曲線の決定係数はいずれも高く、採集時間を単位とした定量的な採集・解析が可能なが示唆された。また、累積種数曲線から求めた、調査開始から29か月の経過後の累積種数の予測値は397mで5.8、687mで14.5であり、実測値とよく一致し、687mが397mを大きく上回ったことから、魚種の種多様性は687m水域の方が397m水域に比較して、高いものと推察された。

キーワード：海洋深層水取水施設、駿河湾、魚種、累積種数曲線、亜寒帯系、種多様性

静岡県では、駿河湾の水深397mと687mから2種類の海洋深層水を汲み上げ、海洋深層水の水産利用研究を実施してきた¹⁾。駿河湾は、水深2,500mを超える深海部を有する日本最深の湾で、表層水、黒潮系水、亜寒帯系水、太平洋深層水による起源や水質の異なる多層の水塊からなる海洋構造を持っており²⁾、水深397m地点は黒潮系、水深687m地点は亜寒帯系の海洋深層水とされる^{2, 3)}。

海洋深層水を取水する場合、深海生物が混入することは既に知られている。例えば、高知県室戸沖では、チゴダラ *Physiculus japonicus*、ユメカサゴ *Helicolenus hilgendorfi*等の、富山湾では、シラエビ *Pasiphaea japonica*、ザラビクニン *Careproctus trachysoma*等の深海生物の採取報告がある^{4~7)}。

生物等の混入による取水装置のトラブルは、取水ポンプの前面にスレーナーを備えることにより、1990年頃に

は解決された⁸⁾。見方を変えれば、このスレーナーは一定の水深において常時トラップ可能な、深海生物の採取装置とみなすことができる。通常、深海生物を調査する場合、漁獲物調査や潜水艇による調査があるが、継続的に採取する機会はかなり限定される。さらに、それらの方法では固定された場所において常時生物を採取することは極めて困難であり、取水施設を利用した深海生物の調査情報は貴重なものと考えられる。また近年、ある場所の、またはある地域の生物多様性を評価するための、簡便迅速かつ定量的な直接採集法として、単位時間採集法による対数モデル累積種数曲線の適用が提案されている⁹⁾。

そこで、駿河湾深層水のスレーナーに混入してきた魚類について調査し、駿河湾に生息する魚種に関する新情報を得た。さらには、今回得られたデータに対数モデル累積種数曲線を適用することを試みた結果、魚種の

2020年1月10日受理

静岡県水産技術研究所（本所）業績第1174号

*¹静岡県水産技術研究所

*²静岡県水産技術研究所現静岡県水産振興課

多様性についても若干の知見を得たので報告する。

材料及び方法

駿河湾海洋深層水取水施設(静岡県焼津市)の概要について図1に示した。取水口は、海底上に設置された高さ9mのやぐら上に付設され、スクリーンはなく、水深397mでは内径200mm、全長約3kmの、水深687mでは内径225mm、全長約7kmの海底上に敷設した各々の取水管を通して、焼津漁港内の陸上にある取水ピット内に送水される³⁾。各々2,000t/日の取水能力を有し、取水管内の流速は最大で50~60km/h程度となる。混入した生物は、ピット内における取水ポンプ手前にある各々のストレーナーに溜まる構造になっている。ストレーナー貯水部分の容量は約300Lで、目合い約1cmのスクリーンにより取水ポンプへの異物混入を防いでいる。2004年4月から2006年8月までの29か月間ほぼ毎日定期的に397mと687mの2種類のストレーナー内を点検し、ストレーナー内の生物を全て採取した。採取した生物を写真撮影し、全長・体重等を測定後、種を同定した。今回は調査期間内にストレーナー内で採取された初記録の魚の種類について整理し、従来の生息分布域と比較考察した。種類の同定、生息分布等については、中坊¹⁰⁾を参照した。

さらに、397mと687mの両者の深層水取水ストレーナーで確認された新しい魚種数の累積値を求めるとともに、調査時間の経過との関係を検討し、種多様性の指標としての観点で考察した。すなわち、調査開始からの経過時間(x)と確認された魚種数の累積値(y)から、水深別に累積種数曲線を求めた。求められた累積種数曲線はx時間の採集を行った場合の採集種数の予測値をyとして与える

結 果

調査期間内に深層水取水ストレーナーで採取された初記録の魚種名、全長、体重等を表1に、写真を図2に示した。深層水取水ストレーナーで採取された魚類は、6目9科14属16種であった。魚種としては、キツネソコギス *Notacanthus abbotti*、コンゴウアナゴ *Simenchelys parasiticus*、ホラアナゴ *Synphobranchus affinis*、イラコアナゴ *Synphobranchus kaupii*、カタクチイワシ *Engraulis japonica*、セキトリイワシ *Rouleina squamilatera*、ナメライワシ *Leptoderma lubricum*、チゴダラ、トミヤマヒゲ *Nezumia tomiyamai*、テナガダラ *Abyssicola macrochir*、ホオズキ *Hozukius emblemarius*、アコウダイ *Sebastes*

ものとなり⁹⁾、本研究では、原点を通る対数モデル累積種数曲線 $y = (1/a) \times \text{Ln}(1+abx)^a$ を適用した。回帰式は、表計算ソフト「エクセル」(Microsoft社製)のソルバーにより、当てはまりが良いaとbの値を検出することにより求めた。得られた397mと687m各々の回帰式について、予測値と実測値を用いて決定係数を求めた。

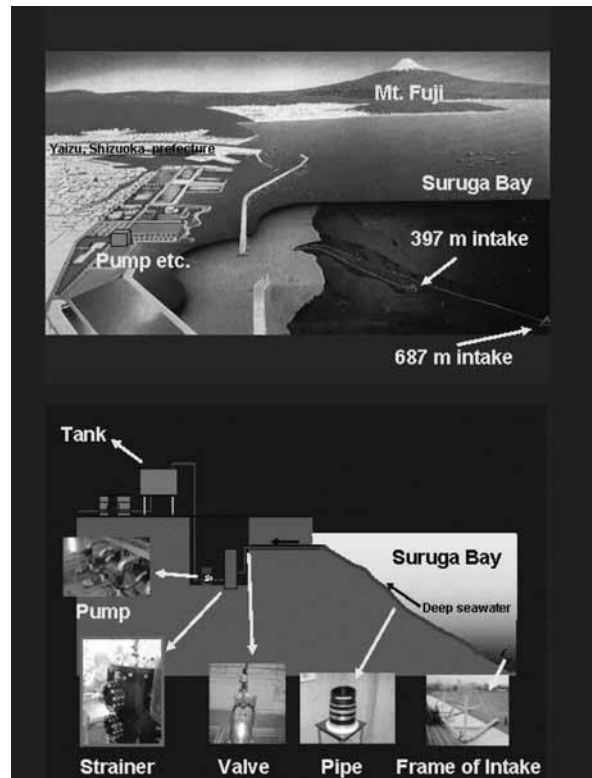


Fig. 1 Schematic drawing of the view (upper) and the mechanism (lower) of the Suruga-Bay deep seawater intake systems at Yaizu, Shizuoka prefecture.

図1 駿河湾深層水取水施設(静岡県焼津市)の外観(上図)と構造(下図)の概要図

matsubarae, アカドンコ *Ebinania vermiculata*, ニュウドウカジカ *Psychrolutes phrictus*, ザラビクニン *Careproctus trachysoma*, アラスカビクニン *Careproctus colletti*であった。採取水深別にみると、397mストレーナーで採取された魚類は5種類、687mストレーナーで採取された魚類は16種類であり、397mのみで採取された魚種はなく、687mのみで採取された魚種は11種類であった。

397mと687mの両者の深層水取水ストレーナーで確認された新しい魚種の累積値について、1か月ごとの推移を図3に示した。調査開始の2004年4月から2005年3月までの12か月間に11種類が確認され、それ以降2006年8月までの17か月間では5種類が確認された。確認された新しい魚種数の1か月当たりの平均は、調査開始から1年まで

は0.92, それ以降は0.29であり, 約7割の魚種が最初の1年で出現した。

今回のデータ(図3)は1か月を単位とした単位時間採集の結果と考えられるため, 水深別に対数モデルによる累積種数曲線を求め, 図4に示した。すなわち, 調査開始からの経過時間(x: 月)と, 確認された魚種数の累積値(y: 種)の関係を, $y = (1/a) \times \text{Ln}(1+abx)$ に当てはめると, 各々以下の式で示された。なお, 687m ストレーナーについては, 後述の理由によりカタクチイワシを除いた15種で検討した。

397m のストレーナー内で採取した魚種については,

$a = 0.384, b = 0.730$ となり,

$$y = (1/0.384) \times \text{Ln}(1+0.384 \times 0.730 \times x)$$

$$(R^2 = 0.839, n = 29)$$

で表された。

687m のストレーナー内で採取した魚種については,

$a = 0.077, b = 0.918$ となり,

$$y = (1/0.077) \times \text{Ln}(1+0.077 \times 0.918 \times x)$$

$$(R^2 = 0.973, n = 29)$$

で表され, 両水深とも決定係数が高い回帰式が得られた。

両累積種数曲線は, 687m が 397m を上回って推移し, 時間経過とともにその差は大きくなった(図4)。両回帰式から求めた29か月経過後の累積種数の予測値は, 397m で 5.8, 687m で 14.5 であり, 実測値とよく一致し, 687m が 397m を大きく上回った。

表1 2004年4月から2006年8月の期間で, 駿河湾深層水取水施設において初めて採取記録された魚種

Table 1 Occurrence of species of fishes captured first time by deep seawater intake systems in the Suruga Bay from April 2004 to August 2006.

Order	Family	Species	Japanese name	Data of acquisition		Photo in Fig. 1	Size of fish in Fig. 1			Information in past report*		New occurrence in this report
				Depth of 397m	Depth of 687m		Total Length (cm)	Wet weight (g)	Distribution in depth	Geographical distribution		
Notacanthiformes	Notacanthidae	<i>Notacanthus abbotti</i>	Kitunesokogisu	2005/1/20	2005/5/2	A	31.5	86.8	Deep (250-1000m)	Aomori~Tosa Bay, Okinawa, Taiwan, Philippine, Hawaii		
Anguilliformes	Synbranchidae	<i>Simenchelys parasiticus</i>	Kongouanago	—	2004/9/10	B	26.0	25.4	Deep (136-2620m)	Hokkaido~Tosa Bay, Kyusyu, Okinawa, Taiwan, Atlantic		
		<i>Synbranchichthys affinis</i>	Horaanago	2005/2/8	2006/4/18	C	26.2	17.6	Deep (290-2334m)	Bering Sea, Hokkaido~Tosa Bay, Kyusyu, Okinawa, Taiwan, Indo-Pacific, Atlantic		
		<i>Synbranchichthys kaupii</i>	Irakoanago	2004/10/23	2004/12/1	D	54.8	231.0	Deep (236-3200m)	Hokkaido~Kyusyu, Okinawa, Taiwan, Indo-West Pacific, Hawaii, Australia, South Africa, Greenland, Atlantic		
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Engraulis japonica</i>	Katakuchiwashi	—	2005/4/2	E	14.8	14.8	Shallow (0-200m)	Kamchatka Peninsula, Coast of Japan, Korean, East China Sea, Taiwan, Philippine	In depth of 687m	
Argentiniformes	Alepocephalidae	<i>Rouleina squamulatera</i>	Sekitoriawashi	—	2005/9/13	F	10.0	6.7	Deep (310-1440m)	Sagami Bay~Okinawa, Taiwan, East Indo-West Pacific		
		<i>Leptoderma lubricum</i>	Nameraiwashi	—	2006/8/1	G	11.8	4.1	Deep (1000-1700m)	Boso Peninsula~SurugaBay, East China Sea, New Zealand	In depth of 687m	
Gadiformes	Moridae	<i>Physiculus japonicus</i>	Chigodara	2004/8/23	2005/7/19	H	45.3	912.0	Deep (75-1007m)	Hokkaido~Kochi, Hokkaido~Yamaguchi, Kyusyu, East China Sea, Taiwan		
	Macrouridae	<i>Nezumia tomiyamai</i>	Tomiyamahige	—	2006/7/31	I	54.0	420.5	Deep (unknown)	Pacific coast of Japan		
		<i>Abyssicola macrochir</i>	Tenagadara	—	2005/7/5	J	76.9	1336.8	Deep (158-830m)	SouthWest Okhotsk Sea, Hokkaido~Tosa Bay, Niigata, Fukui, Okinawa, Korean		
Perciformes	Sebastidae	<i>Hozukius emblemarius</i>	Hozukui	—	2004/7/19	K	34.5	650.5	Deep (542-900m)	Aomori~Kumanonada, Hyogo~Yamaguchi, Kyusyu, East China Sea		
		<i>Sebastes matsubarae</i>	Akoudai	2004/7/27	2005/3/3	L	35.2	750.5	Deep (266-900m)	Chishimareta, Hokkaido, Aomori~Tosa Bay, Niigata, Toyama, Shimane		
	Psychrolutidae	<i>Ebinania vermiculata</i>	Akadonko	—	2004/8/31	M	31.6	890.0	Deep (271-1010m)	Hokkaido~Chiba, Kumanonada		
		<i>Psychrolutes phricus</i>	Nyuudoukajika	—	2004/8/19	N	31.9	947.0	Deep (480-2800m)	Aomori~Ibaragi, East North Pacific	In Suruga Bay	
	Liparidae	<i>Careproctus trachysoma</i>	Zarabikunin	—	2004/5/27	O	9.2	—	Deep (185-785m)	Tatar Strait, Okhotsk Sea, Japan Sea	In Suruga Bay	
		<i>Careproctus colletti</i>	Arasukabikunin	—	2004/11/10	P	14.9	46.2	Deep (64-1350m)	Alaska Bay, Bering Sea, Okhotsk Sea, Japan Sea	In Suruga Bay	
6 orders	9 families	14 genus 16 species		5 species	16 species							

—: No data

*: Tetsuji Nakabo (2013)

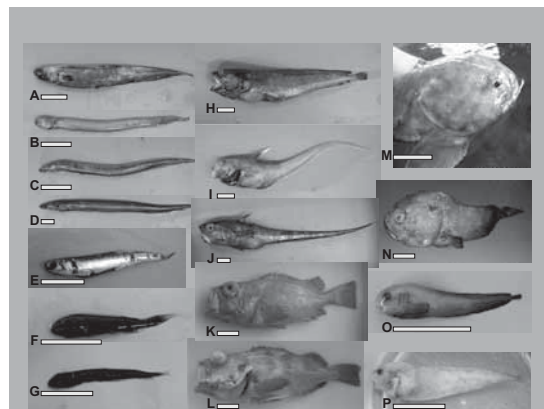


Fig. 2 Photograph of fish captured in the Suruga-Bay deep seawater intake systems.

図2 駿河湾深層水取水施設で採取された魚種の写真

A~P は表1に示す。スケールバーは5cm。

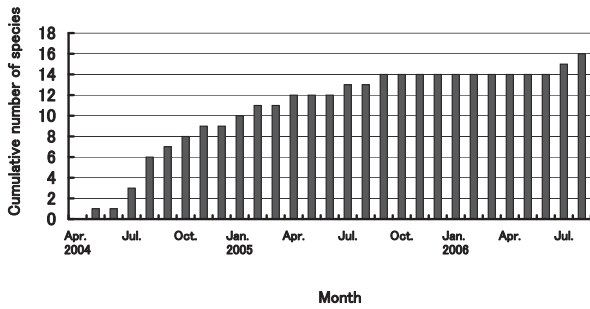


Fig. 3 Monthly changes in the cumulative number of newly species of fish after the start of survey.

図3 駿河湾深層水取水施設で確認された新しい魚種の累積値の1か月ごとの推移

考 察

今回確認された魚種の各々の生息水深と地理分布は、表1に示したように報告されている。

生息水深に関しては、今回の採取水深は397mと687mであり、採取された大部分の魚種については従来報告されている水深範囲と一致した。しかしながら、表層魚種であるカタクチイワシや、1,000m以深が生息域のナメライワシが確認された。カタクチイワシが687mで採取されたことに関しては、今回採取された個体には損傷が確認されたことから、へい死した個体が沈降して吸い込まれた等の可能性が考えられる。一方、ナメライワシが687mで採取されたことに関しては、従来報告されている水深範囲よりも浅い場所でも生息していることが確認され、本種の既報の生息水深範囲が再検討される必要が示唆された。

キツネソコギス、ホラアナゴ、イラコアナゴ、チゴダラ、アコウダイの5種は水深397mと687mの両方で採取され、これら以外の種は687mのみでの採取であったことから、上記5種の駿河湾における生息水深範囲は他の種に比較して広いことが推察された。

地理分布に関しては、今回の採取場所は日本の太平洋岸に位置する駿河湾であり、採取された大部分の魚種については従来報告されている分布範囲である、温帯域～熱帯域の深海と一致した。しかしながら、以下の3種類の魚種についてはそうではなかった。すなわち、ニュウドウカジカは、オホーツク海～ベーリング海、青森県～茨城県に、アラスカビクニンは、日本海、オホーツク海、ベーリング海、アラスカ湾に、ザラビクニンは、日本海、オホーツク海、タートル海峡、に各々生息するとされる亜寒帯系の魚種であるが、今回それらの魚種を駿河湾で採取確認した。このうち、ニュウドウカジカについては、別途既に筆者が報告した¹¹⁾。

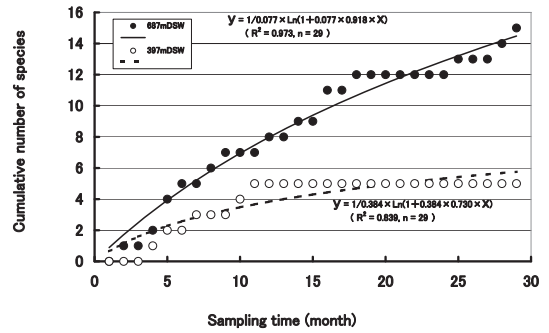


Fig. 4 Relationships between sampling time and cumulative number of newly species of fishes captured by DSW intake systems in the Suruga Bay, pumping up DSW from depths of 397m (○) and 687m (●).

Fifteen species of fishes (except *Engraulis japonica*) were used as the data.

図4 調査開始からの経過時間(x : 月)と、確認された魚種数の累積値(y : 種)の水深別の関係と、対数モデルによる累積種数曲線

カタクチイワシを除く15種のデータを使用。

駿河湾は、水深2,500mの日本最深の湾で、起源や水質の異なる4タイプ5層の多層の水塊からなる海洋構造を持っており²⁾、水深397m地点は黒潮系、水深687m地点は亜寒帯系の海洋深層水とされる^{2,3)}。今回採取されたほとんどの魚種の地理的分布域は、温帯域～熱帯域の深海とされているが、亜寒帯系の海洋深層水とされる水深687m地点からも採取されていることから、必ずしも魚種と海洋深層水の種類が明確に対応しているわけではない。ただ、今回水深687mで亜寒帯系の魚種3種が採取された事実は、その水深帯が亜寒帯系由来の深層水³⁾であることを裏付ける一つの証拠であるものと考えられる。

今回の調査で、深層水取水ストレーナーで様々な魚類が採取されることが判明した。さらには、約7割の魚種が最初の1年で出現したことから、少なくとも1年調査することにより、取水口周辺水域に生息する主な魚種は把握できるものと考えられる。

種多様性を表すもつとも直接的な指数は、種数であり、その値は、調査面積や調査努力により大きく変わる¹²⁾。ある場所の、またはある地域の生物多様性を評価するために、従来は記録された生物の総種数を用いることが多かったが、総種数を得るには徹底的な調査が必要となり、要する時間や労力は莫大なものとなる。一方、ある地域の棲息種数について一定の基準のもとに相対的な評価を下すのが目的であれば、定量的な反復調査を行う必要があり、時間・労力などのコストを可能な限り抑えて調査効率を高めることが望ましい。近年、調査努力が異なっ

でも種の多様性を比較できる，簡便迅速かつ定量的な直接採集法として，単位時間採集法による対数モデル累積種数曲線の適用が提案されている⁹⁾。

水深397mと687mの取水量すなわち調査努力量は厳密には異なると推定されるが，前述した適用モデルの特長により，種多様性の比較が可能と示唆される。今回求めた単位時間採集に基づく対数モデル累積種数曲線の決定係数は両水深とも高く，採集時間を単位としたストレーナーでの魚類の定量的な採集・解析が可能なが示唆された。また両回帰式から求めた29か月経過後の累積種数の予測値は，397mで5.8，687mで14.5であり，実際に採取された魚類の種数も687m水域の方が，397m水域に比較して多かったことから，魚類の種多様性は高いものと推察された。

さらに，海域別に上記のような回帰式を求めることにより，その海域の種多様性を相対的に評価できる可能性も示唆された。

謝 辞

駿河湾深層水取水供給施設のストレーナー内の点検と生物採取にご協力下さった静岡県水産技術研究所元職員の窪田 久氏・大河内俊雄氏，駿河湾深層水取水供給施設元職員の野中敬八氏・故増田雅史氏の各位に御礼申し上げます。

文 献

1) 岡本一利(2010)：海洋深層水の水産利用研究，そして異業種連携，地域連携．日本水産学会誌，76(4)，724.

2) 中村保昭(1982)：水産海洋学的見地からの駿河湾の海洋構造について．静岡県水産試験場研究報告，17，1～153.

3) 大川五郎・青木一永・望月秀雄・堀 哲郎・久富浩介・中野秀雄(2001)：駿河湾海洋深層水取水の取水管の敷設．海洋深層水研究，2，87～93.

4) 高知県海洋深層水研究所(1998)：海洋深層水取水装置内から回収された生物．高知県海洋深層水研究所報，3，47～59.

5) 小谷口正樹(1998)：深層水取水施設の管理上の問題点—とくに取水口から迷入する生物について—．海洋深層水'97富山シンポジウム講演記録集，66～68.

6) 林 芳弘(2002)：室戸海洋深層水取水管における生物の迷入．高知県海洋深層水研究所報，5，112～120.

7) 阿部裕子(2006)：深層水取水管からの生物の迷入．高知県海洋深層水研究所報，7，71～74.

8) 中島敏光(2002)：-21世紀の循環型資源-海洋深層水の利用，緑書房，東京，263pp.

9) 頭山昌郁(2000)：単位時間採集法に基づく種数の推定について—アリの調査への適用—．日本環境動物昆虫学会誌，11，51～60.

10) 中坊徹次(2013)：日本産魚類検索 全種の同定 第三版，東海大学出版会，東京，2428pp.

11) 岡本一利(2010)：駿河湾深層水取水施設において混入採取されたニュードウカジカ．静岡県水産技術研究所研究報告，45，25～28.

12) 日本生態学会(2016)：シリーズ現代の生態学10 海洋生態学，共立出版株式会社，東京，305pp.

Species of fish captured by deep seawater intake systems in the Suruga Bay, and species richness estimation by logarithmic model of species accumulation curve

Kazutoshi Okamoto¹, Kazumi Nimura¹, Takayuki Hanai¹ and Susumu Takase²

Abstract Species of fish captured by deep seawater (DSW) intake systems in Suruga Bay were surveyed from April 2004 to August 2006. The DSW intake systems were located at two different depths of 397m (DSW397) and 687m(DSW687). Sixteen fish species were observed during the survey period. Newly captured species accounted for 69% of the total species captured during the first year. Both systems captured various fishes like Slickhead *Leptoderma lubricum*. In particular, three rare subarctic fishes, Tadpole sculpin (*Psychrolutes phrictus*), Snailfish (*Careproctus trachysoma*, *C. colletti*) were collected from the DSW687, indicating that they were transported in undercurrents of the Subarctic water mass. The accumulation of fish species collected by sampling month was estimated using a logarithmic curve. The estimated species richness at a depth of 687m was more than that at the depth of 397m. Future research should involve comparing the number of species captured among several sites where the sampling effort was different.

Key words: Deep seawater intake system, Suruga Bay, Species of fish, Species accumulation curve, Subarctic, Species richness