



Title	青森県周辺海域におけるキアンコウの生態および資源に関する研究
Author(s)	竹谷, 裕平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産科学)
Dissertation Number	甲第12854号
Issue Date	2017-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k12854
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90511
Type	doctoral thesis
File Information	Yuhei_Takeya.pdf



青森県周辺海域におけるキアンコウの生態および資源に関する研究
(Ecological study and resource assessment of yellow gosefish
Lophius litulon off Aomori Prefecture, northern Japan)

北海道大学大学院水産科学院

海洋生物資源科学専攻

Graduate School of Fisheries Sciences

Division of Marine Bioresource and Environmental Science

竹谷 裕平

Yuhei Takeya

平成 29 年 (2017)

目次

第 1 章	緒言	1
第 2 章	分布と移動, 行動	10
2-1	津軽海峡における標識放流	10
2-1-1	目的	10
2-1-2	材料と方法	10
2-1-3	結果	13
2-1-4	考察	25
2-2	バイオロギングによる行動解析	28
2-2-1	目的	28
2-2-2	材料と方法	28
2-2-3	結果	30
2-2-4	考察	46
第 3 章	食性と栄養状態	55
3-1	目的	55
3-2	材料と方法	57
3-3	結果	60
3-4	考察	70
第 4 章	成長と成熟	74

4-1	年齢査定法の確立	74
4-1-1	目的	74
4-1-2	材料と方法	74
4-1-3	結果	78
4-1-4	考察	89
4-2	性判別法の確立	97
4-2-1	目的	97
4-2-2	材料と方法	97
4-2-3	結果	98
4-2-4	考察	103
4-3	年齢と成長・成熟	105
4-3-1	目的	105
4-3-2	材料と方法	105
4-3-3	結果	108
4-3-4	考察	114
第5章	津軽海峡東部における資源量推定と管理	124
5-1	目的	124
5-2	材料と方法	125
5-3	結果	127
5-4	考察	138

第 6 章	総合考察	143
6-1	生活史特性	143
6-2	資源量変動	145
6-3	資源管理のあり方	150
要約		157
謝辞		161
文献		164
付表・付図		173
付図 2-2		173
付表 3		188
付表 4-1		189
付図 4-1		191

第1章 緒言

水産資源は再生可能な特徴を有するが、持続的に利用するためには分布や回遊、食性、成長・成熟等の生態学的知見を集積して適切に管理を行う必要がある。多くの魚類は、産卵や摂餌等の回遊を行う(生田・会田 1987)。回遊とは、複数の生息地間の定型的循環移動であり(塚本 1994)、生活史の根幹をなす。したがって、魚類の資源量を推定するためには、その生活史を把握して資源全体をモデル化する必要がある(独立行政法人水産総合研究センター 2014)。近年では、同種内の生活史の多型やメタ個体群の形成との関連性も議論されており(Pullam 1988; Secor 2002; 塚本 2006)、これらの存在やソース・シンク動態(Pullam 1988)を把握しなければ、対象種の資源全体をモデル化することはできない。

底魚類は、浮魚類に比べれば生息環境の変化に対応した回遊規模が一般に小さく、分布は大陸棚上および大陸棚斜面部にほぼ限られているため、管理を行わないと資源を疲弊させやすい(青山, 1980)。

キアンコウ *Lophius litulon* は日本周辺に広く分布し、主に太平洋北部海域および日本海南西海域から東シナ海で漁獲されている。これらのうち太平洋北部海域においては、沖合底曳網漁業の漁獲量統計から、三陸北部系群(北海道恵山から三陸北部)と常磐系群(常磐から鹿島灘)の2系群の存在が推定されている(二平 2003)。青森県では、キアンコウの漁獲量が多く、統計上では「あんこう」として集計されている。漁期年別(前年9月から当年8月まで)の漁獲量は2009年漁期まで900トン前後

を推移していたが、2010年漁期769トン、2012年漁期には538トン、2015年漁期291トンと急減している。2016年漁期は380トンに回復したが、低位で推移している(図1-1)。主たる漁場と漁法は、津軽海峡東部と陸奥湾では刺網と定置網、太平洋南部において底曳網である(図1-2)。また、青森県津軽海峡東部沿岸では盛漁期である5-6月にかけて刺網や底建網で大量に漁獲されるが、高需要期である11-2月に比較すると極端に価格が安く(図1-3)、漁家経営上、漁獲金額を数量で補う傾向にあり、資源管理上、不合理な漁獲が続いている。東シナ海・黄海における本種の漁獲量に関する統計データは、十分に整備されていない。我が国における本海域のアンコウ類水揚げは主に下関市に集中しており、2002年427トンから2006年1,072トンまで増加したが、以降減少傾向に転じ、2013年534トン、2015年662トンと推移している。(山口県下関水産振興局調べ)。韓国は、毎年アンコウ類を1万トン強漁獲している(Food and Agriculture Organization of the United Nations <http://www.fao.org/fishery/sofia/en>, 2017年5月19日)。しかし、いずれも本海域に生息していると考えられるキアンコウとアンコウ *Lophiomus setigerus* は、統計上分類されていない。中国における漁獲動向は、不明である。

一方、本種は、太平洋北部海域では沖合底曳網漁業・小型機船底曳網漁業の、東シナ海・黄海では沖合底曳網漁業・以西底曳網漁業の重要な漁獲対象種である。太平洋北部海域では「太平洋北部沖合性カレイ類資源回復計画(2003-2011年度)」, 東シナ海・黄海では「日本海西部・九州西海域底曳網漁業(2 そう曳)包括的資源回復計画(2006-2011年度)」の対象魚種として、保護区の設定や減船、漁船

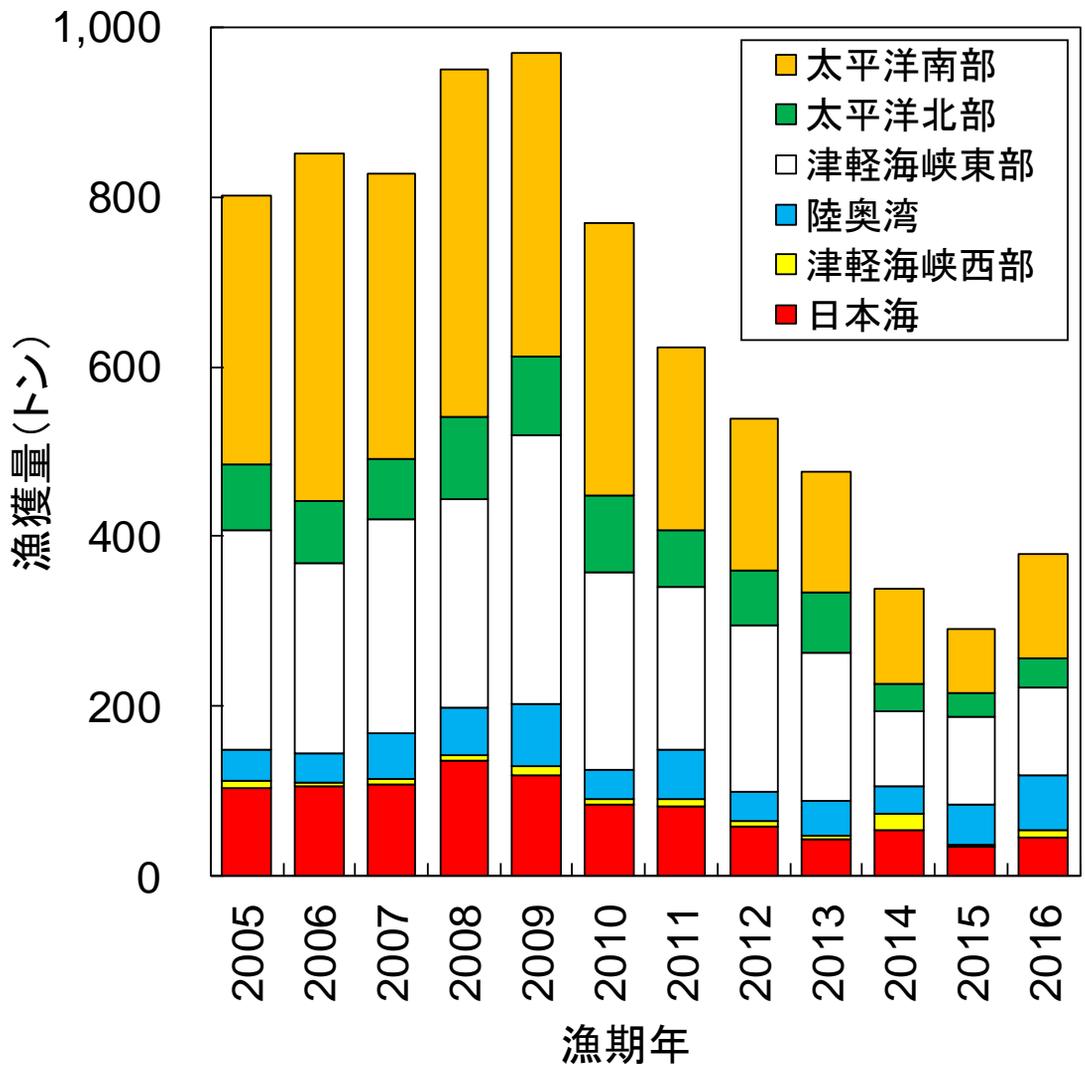


図1-1 青森県におけるあんこう漁獲量の年推移(青森県統計より引用).

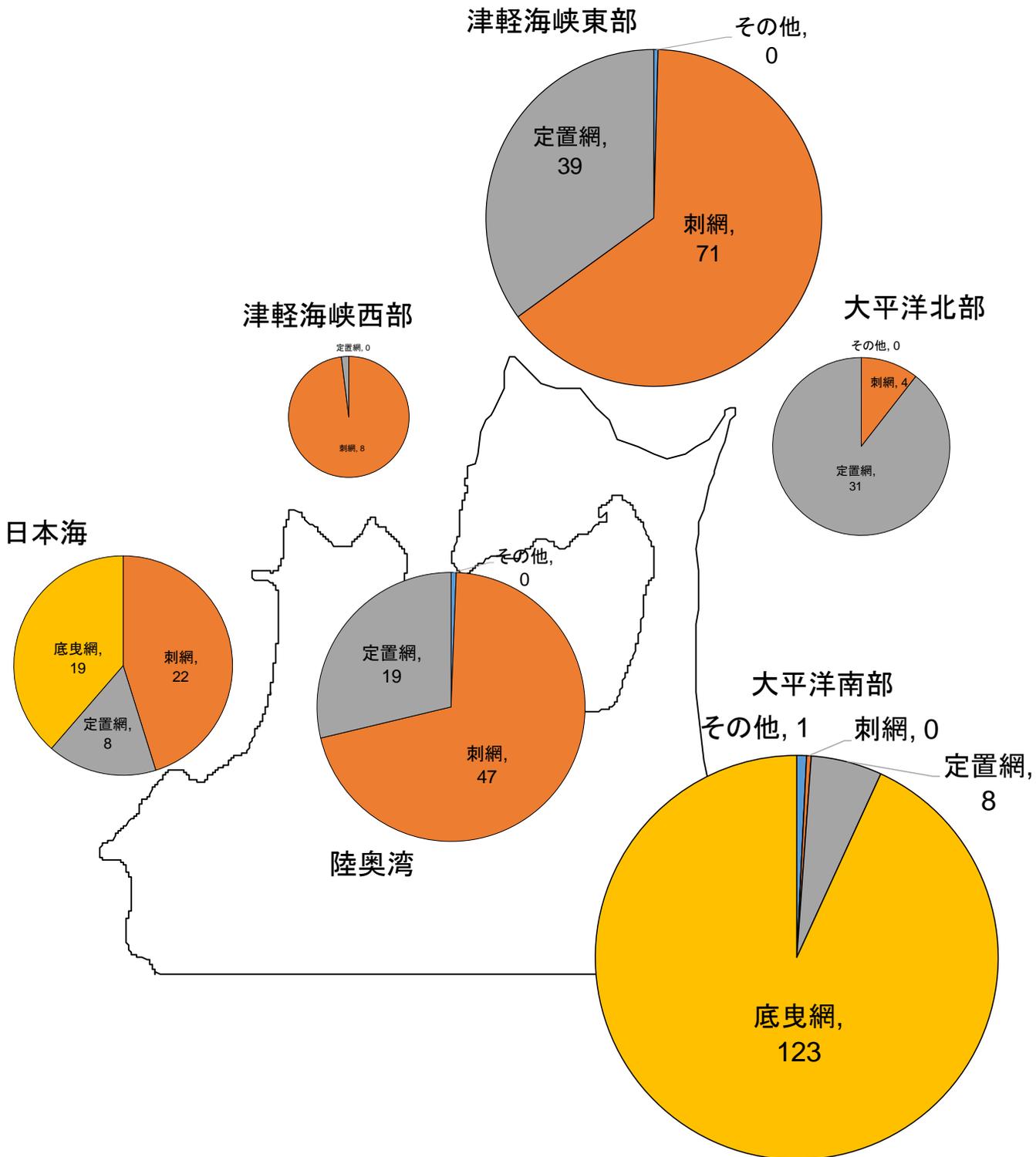


図1-2 青森県における2016年漁期海域別漁法別あんこう漁獲量
 (値は漁獲量(トン), 青森県統計より引用).

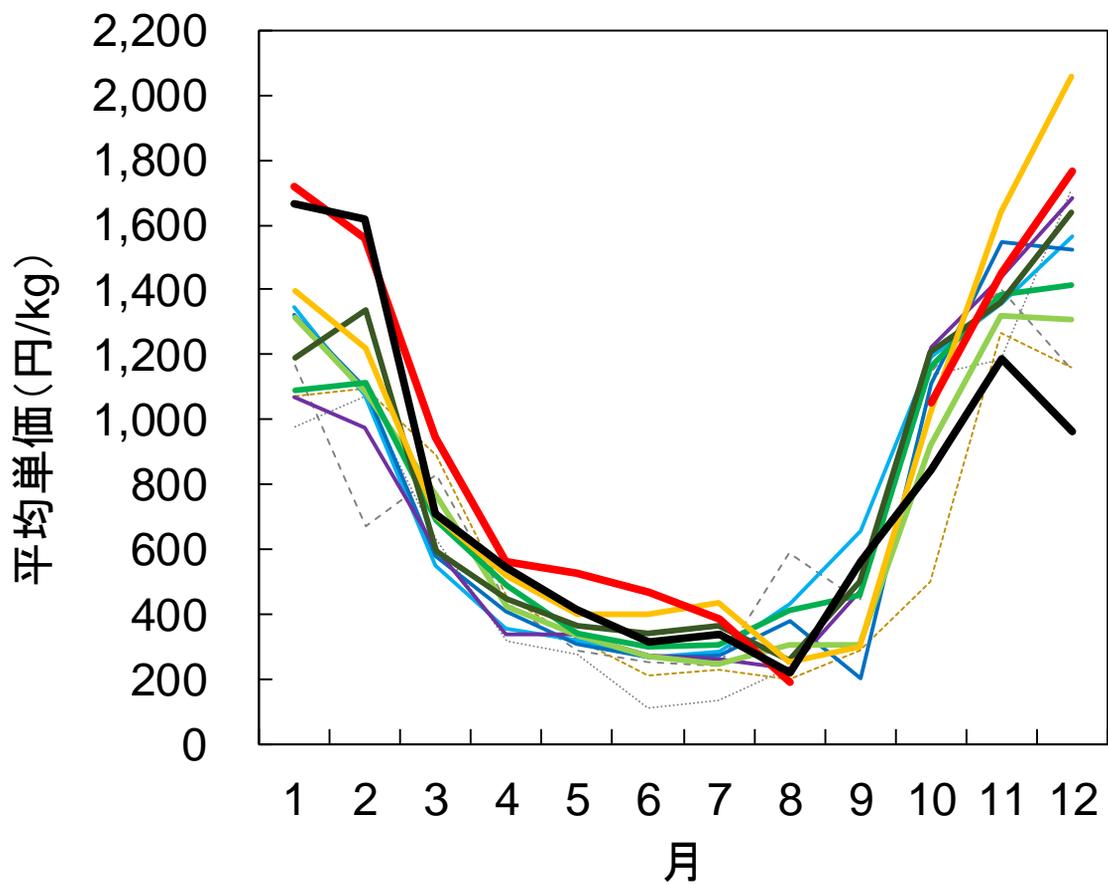


図1-3 青森県津軽海峡東部におけるあんこう平均単価の年別月推移
(青森県統計より引用).

の小型化, 漁具の改良, 休漁, 漁場環境の保全措置等が取り組まれ, それぞれ一定の成果を挙げている。本計画以降も, 国や関係県, 関係団体等によって作成された資源管理計画・指針の下で同様の取り組みが継続されている。また, 太平洋北部海域では, 2002 年度から独立行政法人水産総合研究センターが資源評価調査を行っているが, 上述のように年齢, 成長, 移動等に関する知見は十分ではなく, 本種の ABC は 2 系ルールに基づき算出されており(柴田ら 2017), より精度の高い 1 系ルールによる ABC 算定ができるようこれらの研究・開発が急務である。

以下に, 本種的生活史特性をまとめる。

回遊および生活年周期:

仙台湾周辺では 11 月頃から魚群は摂食行動に伴って接岸を始め, 2-6 月の摂餌活発期に水深 80 m 以浅に濃密な分布域を形成し, 7 月以降は分布の中心は深みに移り, 8-10 月の摂餌不活発期には分布域は最大水深 400 m と最も深くなる(小坂 1966)。福島県沖合では, 4-5 月にかけて産卵・摂餌に伴い浅所に移動し, 5-10 月が摂食不活発期であると考えられている(岩崎ら 2010)。山形県沖合では, 産卵のために浅所に接岸すると考えられており, 遊佐町吹浦沖水深 60 m 付近に設置された底建網で 1-6 月初旬まで漁獲されることから, 産卵期は 1 月以降であると推察されている(大澤・鈴木 2009)。東シナ海・黄海では, 未成魚は適水温と考えられる 6-16°C の範囲で冬から春には深場へ移動し, 水温が高くなる夏から秋には東シナ海の中華人民共和国から大韓民国の沿岸へ移動する(Yoneda *et al.* 2002)。成魚は水

温に加えて性成熟の影響を受けて冬から春には産卵場である東シナ海の浅場で生活・産卵し、越夏場である黄海や東シナ海の深場に移動する(Yoneda *et al.* 2002)。

食性:

福島県沖合では、体長 10 cm 未満の小型魚はエビジャコ *Crangon* sp.や小型魚類を、体長 20 cm からカタクチイワシ *Engraulis japonicus* やイカナゴ属 *Ammodytes* sp. を摂食する(岩崎ら 2010)。仙台湾では、主にイカナゴ属成魚を、次いでカタクチイワシ、マアナゴ *Conger myriaster*, マサバ *Scomber japonicus*, マガレイ *Pseudopleuronectes herzensteini* 等を捕食する(小坂 1966)。日本海南西海域の山口県から九州北部沖合では、カレイ類、カタクチイワシ、アカムツ *Doederleinia berycoides* 等を捕食している(河野 2011)。韓国沿岸では主に底生魚類やミスジエビジャコ *Crangon hakodatei* 等を捕食しており、一部の大型魚では共食いも認められる(Park *et al.* 2014)。

年齢査定:

近縁種である Angler *Lopius piscatorius* と Blackbellied angler *Lopius budegassa* について、誘因突起(背びれ第一棘)を用いた解析手法が確立されている(Duarte *et al.* 2002)。キアンコウについては、Yoneda *et al.*(1997)が東シナ海において、椎体の輪紋が年齢形質として有効としている一方、そこから導かれる成長式と、池上ら(2000)や堀(1993)が体長組成から求めた成長量とは大きく異なっている。さらに、河野(2010b)は椎体の輪紋は年輪ではなく、1年に2本形成されると報告されており、年齢形質の検証は十分ではないものと考えられる。

成熟体長:

福島県沖合では雄で 35 cm, 雌で 55 cm (岩崎ら 2010), 日本海南西海域の山口県から九州北部沖合では, 雄で 33 cm, 雌で 63 cm (河野 2011), 東シナ海では, 雄で 32.5 cm, 雌で 54.6 cm であり (Yoneda *et al.* 2001), 雄では海域間の差は小さいのに対して, 雌では山口県から九州北部で大型である。

体長組成による成長の推定:

福島県沖合では, 7 月頃に採集される体長 5–10 cm の小型魚は 1 年で約 15–25 cm 程度成長すると考えられている (岩崎ら 2010)。山形県沖合ではその年に発生したと考えられる着底稚魚が 5 月中旬から 6 月初旬に確認されており, 9 月に 11 cm, 12–1 月に 16–17 cm, 5 月には 20 cm 前後, 2 歳魚は 27–40 cm まで成長すると考えられている (大澤・鈴木 2009)。茨城県沖合では, 全長 25–29 cm で 1.5 歳, 全長約 45 cm で 2.5 歳であると推定されている (堀 1993)。東シナ海では, 1 歳で雄が体長 9.2 cm, 雌が体長 10.2 cm, 8 歳で雄が体長 45 cm, 雌が体長 50 cm 以上としている (Yoneda *et al.* 1997)。

性比:

日本海南西海域の山口県から九州北部沖合で調査されており, 雌の割合は全長 20.0–49.9 cm で 62.5–66.7%, 50.0–59.9 cm で 85.7%, 60.0–69.9 cm で 95.8%, 70.0 cm 以上で 100% である (河野 2011)。

一方, 青森県周辺海域ではこれらの生態的特性のほとんどが未詳である。本研究は, 青森県周辺海域に分布するキアンコウの回遊, 食性, 成長・成熟等の資源・生態

的特性を明らかにし、効果的な資源管理手法を提示することにより、漁業者による資源の持続的利用に資することを目的とする。

第 2 章 移動と分布

2-1 津軽海峡における標識放流

2-1-1 目的

本種の回遊については仙台湾において小坂(1966), 東シナ海・黄海において Yoneda *et al.* (2001) が漁獲物記録から各々推定している。標識放流による知見は北沢・山本(2002)が神奈川県沿岸で実施し短期間に 9 個体が再捕された報告はあるが, 北部太平洋における移動生態については全く不明である。一方, 青森県津軽海峡東部沿岸では春から夏季にかけてキアンコウが大量に沿岸に来遊するものの, 冬季に比較すると極端に安い価格で取引されており, 漁業者から資源の有効利用方法と適切な資源管理手法の開発が求められている。本章では, 標識放流事例が極めて少ないキアンコウについて, 2005 年以降青森県津軽海峡沿岸において標識放流を実施し, その季節移動や分布範囲を明らかにすると共に, 系群構造についても考察を行った。

2-1-2 材料と方法

標識放流 2005 年 5 月から 2012 年 6 月に青森県下北半島の津軽海峡-太平洋沿岸(佐井村-東通村猿ヶ森)において定置網, 刺網, 底建網および空釣り縄で漁獲された 2,493 個体を用いて標識放流を行った(図 2-1-1, 表 2-1-1)。漁獲時に活力の高い個体を選抜し, 全長を測定後, 個体識別番号を記録した直径 13 mm アトキンス型プラスチック製タグ(以下ディスクタグと表記)を, ビニールチューブにより背鰭基

表2-1-1. 標識放流キアンコウ *Lophiu litulon* の詳細

放流 場所	放流 個体数	漁法	放流 水深 (m)	全長 (cm)	
				平均 (標準偏差)	範囲
佐井	36	定置網	5 - 55	51.5 (±6.0)	30.0 - 63.0
蛇浦	1,213	刺網	2 - 100	48.5 (±6.3)	25.0 - 75.0
易国間	494	刺網	30 - 230	39.6 (±8.1)	15.0 - 60.0
下風呂	233	空縄釣り	25 - 110	38.0 (±7.7)	21.0 - 58.0
大畑	36	定置網	65 - 65	56.8 (±11.1)	35.0 - 80.0
関根浜	165	底建網	4 - 60	38.5 (±10.3)	15.0 - 65.0
野牛	27	定置網	27 - 40	32.9 (±10.4)	18.0 - 65.0
尻屋	200	定置網	5 - 50	45.6 (±8.9)	26.0 - 75.0
尻労	44	底建網	25 - 70	45.7 (±10.4)	25.0 - 65.0
猿ヶ森	45	定置網	27 - 90	44.8 (±7.6)	25.0 - 63.0
合計	2,493		4 - 230	44.7 (±9.0)	15.0 - 80.0

底部を貫通する方法で装着し、直ちに放流した(図 2-1-2)。一部の作業は、漁業者に依頼した。放流時の平均全長±標準偏差は 44.7 ± 9.0 cm であり、全長範囲は 15.0–80.0 cm, 放流水深の範囲は 2–230 m であった(表 2-1-1)。調査時点では、外観による雌雄判別が困難であったことから、雌雄込みとして解析を行った。再捕時には、全長、標準体長、全重量、再捕年月日、再捕水深、再捕漁法、標識番号等の提供を求めた。得られた再捕データは、青森県内沿岸海域の日本海、津軽海峡西部、津軽海峡東部、太平洋、並びに青森県外沿岸海域の合計 5 海域に区分して、再捕率と放流から再捕までに要した日数を求めた。また、再捕水深が明らかな個体について、水深を 25 m ごとに階級区分し、再捕個体数が多かった 1–6 月の各月の頻度分布を求めた。

漁獲個体数の推移 津軽海峡東部海域で最も漁獲量の多い蛇浦漁業協同組合(風間浦村)において、2008 年 11 月から 2016 年 6 月まで漁期年(前年 11 月から当年 6 月まで)の半旬ごとに、キアコウの漁獲個体数を集計した。半旬別平均表層水温(1 か月を 5 日間の 6 期間に区分し、月末のみ 3–6 日間の平均値)は、青森県海況気象情報総合提供システムより風間浦村に隣接するむつ市関根浜沿岸の表層水温を引用した。

成長 再捕された個体のうち、成長の季節変化の影響を排除するため、放流から再捕までの日数が 1 年以上であり、かつ全長の実測データがある個体について、年間平均成長量(mm/年)を算出した。

2-1-3 結果

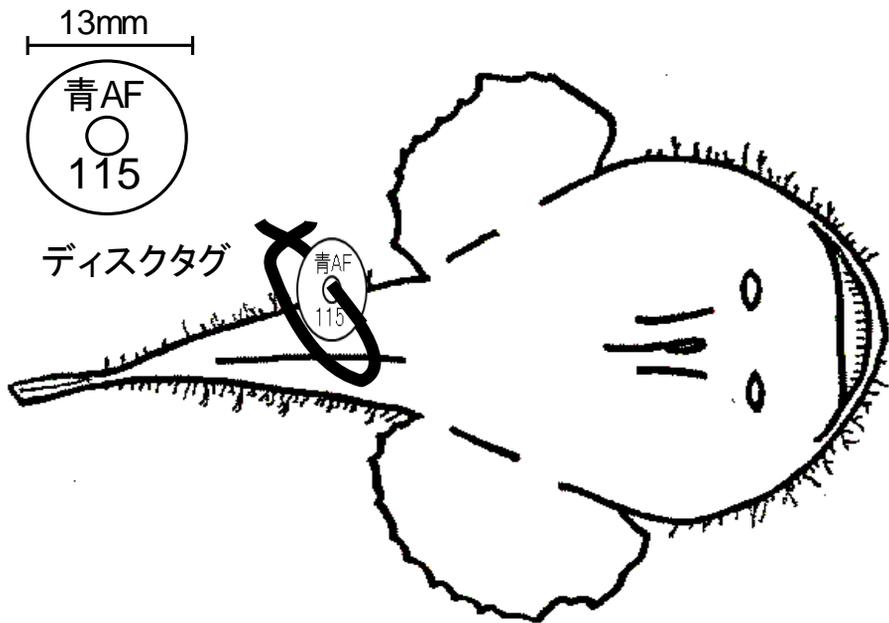


図2-1-2 キアンコウ *Lophius litulon* のディスクタグ装着イメージ図.

再捕個体数と移動 2017年2月までに合計137個体が再捕され、再捕率は5.5%であった(表2-1-2)。青森県沿岸で全体の82%に相当する112個体が再捕された(図2-1-3)。これらの内訳は、放流海域である津軽海峡東部沿岸で全体の67%、75個体が、津軽海峡西部沿岸で3.6%、4個体が、日本海沿岸で0.9%、1個体が、太平洋沿岸で29%、32個体がそれぞれ再捕された。

青森県以外では全体の18%に相当する25個体が再捕され(図2-1-4)、これらの内訳は、北海道沿岸で10個体、岩手県沿岸で6個体、宮城県沿岸で1個体、福島県沿岸で3個体、茨城県沿岸で1個体、千葉県沿岸で1個体、神奈川県沿岸で2個体、富山県沿岸で1個体であった。

再捕までの経過日数 放流から再捕までの経過日数を再捕場所ごとに解析し、青森県沿岸で再捕された個体の経過日数を図2-1-5に示す。放流海域である津軽海峡東部沿岸で再捕された個体の経過日数は、平均417日(範囲1-1,068日)、津軽海峡西部沿岸の今別町では411日、外ヶ浜町では平均483日(345-738日)で、日本海沿岸の深浦町では611日であった。青森県太平洋沿岸に移動した個体では、東通村では平均397日(1-1,367日)、六ヶ所村では平均361日(120-656日)、三沢市では173日(15-330日)、八戸市では152日であった。このように、再捕までの経過日数は、数日から最長で1,367日まで及んでいた。平均再捕日数は、1個体のみの再捕を除いて太平洋で短く津軽海峡西部で長い傾向を示した。

青森県沿岸から県外に移動した個体の経過日数を図2-1-6に示す。北海道沿岸に移動した個体の経過日数は、噴火湾沿岸の白老町で20日、室蘭市で141日、八雲町で502日、森町で175日、津軽海峡対岸の函館市で平均504日(185-918

表2-1-2. 標識放流キアンコウ *Lophiu litulon* の再捕データ

放流 場所	再捕海域別個体数					合計	再捕 率 (%)
	青森県内				青森 県外		
	日本海	津軽海峡 西部	津軽海峡 東部	太平洋			
佐井							
蛇浦	1	3	46	12	15	77	6.3
易国間			8	5	2	15	3.0
下風呂		1	9	8	1	19	8.2
大畑			4	1		5	13.9
関根浜			1	1	2	4	2.4
野牛							
尻屋			1	2	2	5	2.5
尻労							
猿ヶ森				2		2	4.4
(不明)			6	1	3	10	
合計	1	4	75	32	25	137	5.5

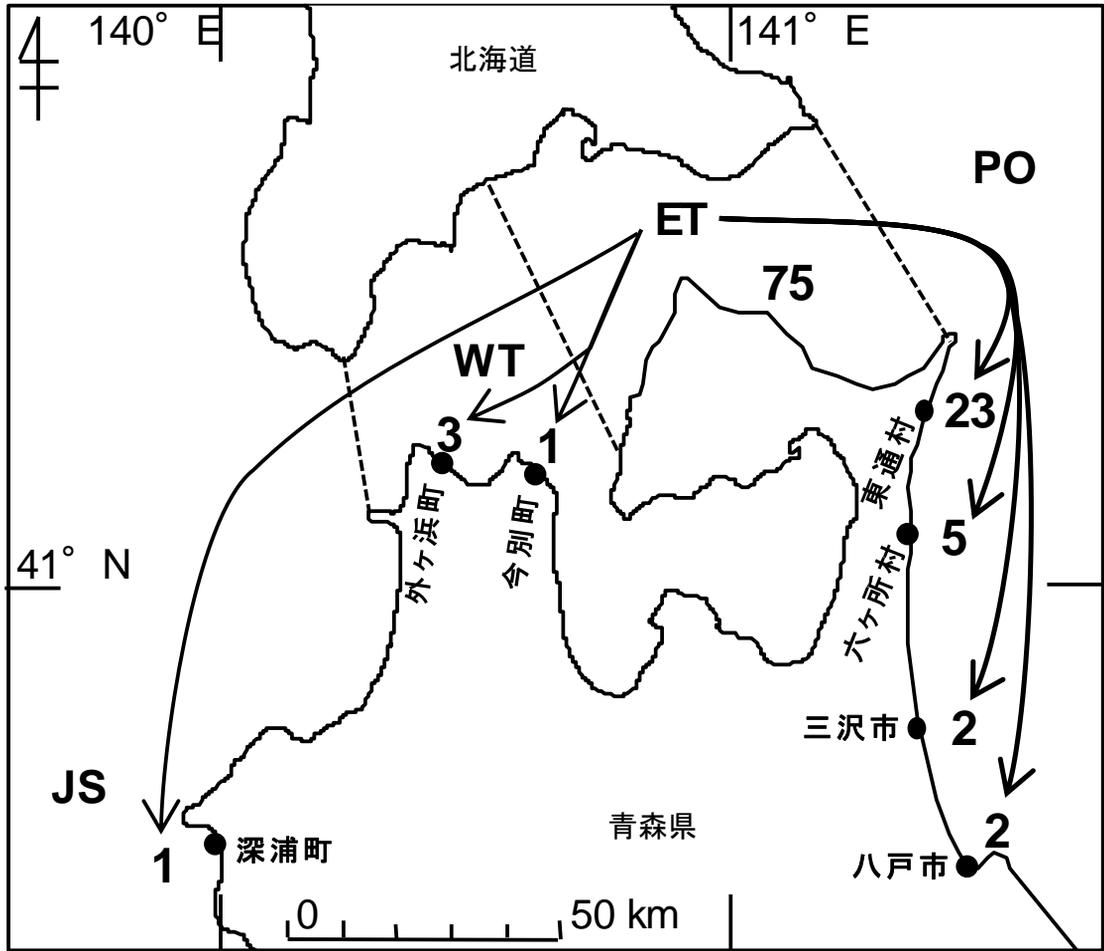


図2-1-3 青森県内における標識キアンコウ *Lophius litulon* の海域別再捕個体数. JSは日本海, WTは津軽海峡西部, ETは津軽海峡東部, POは太平洋を示す.

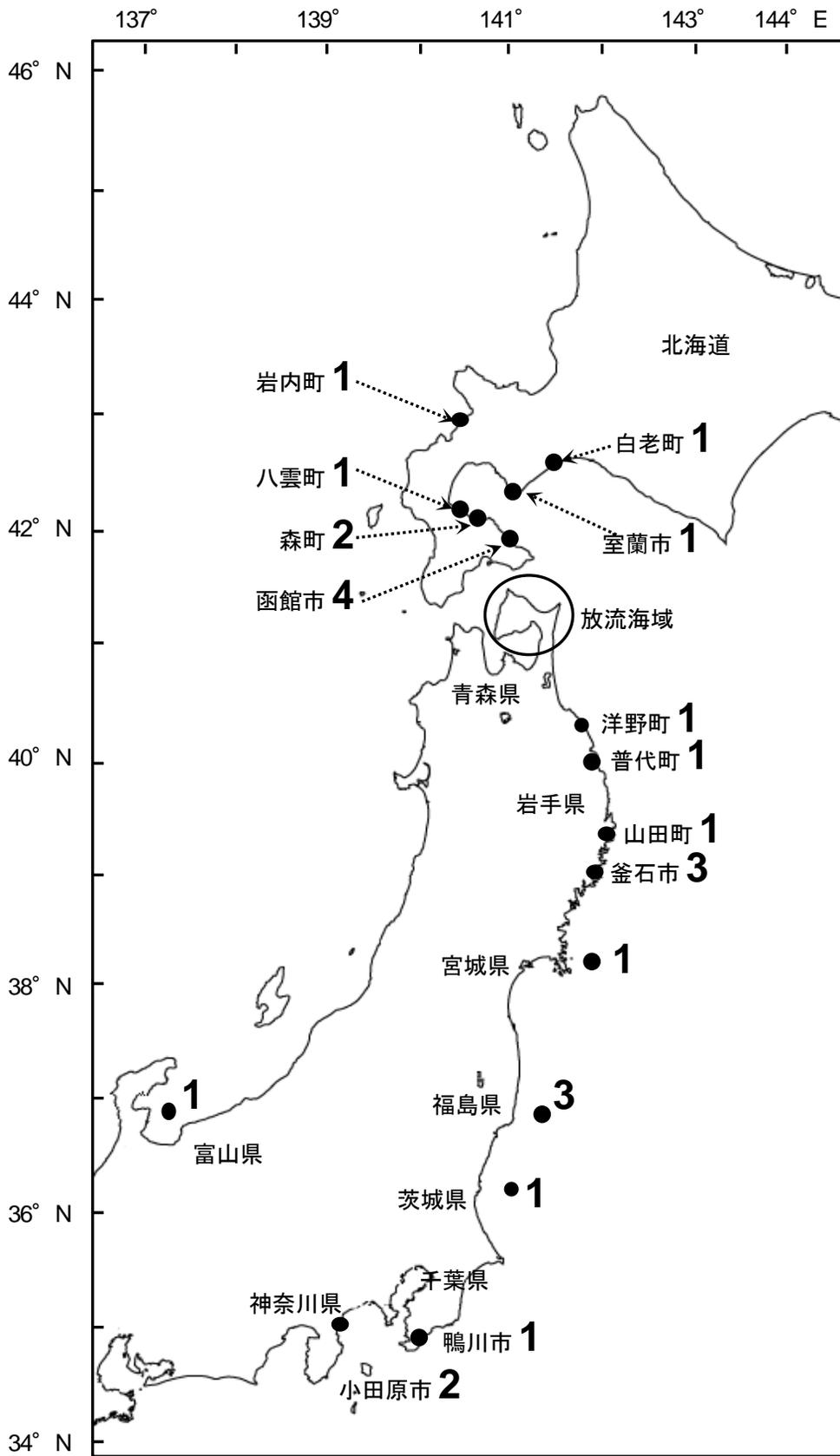


図2-1-4 青森県外における標識キアンコウ *Lophius litulon* の海域別再捕個体数.

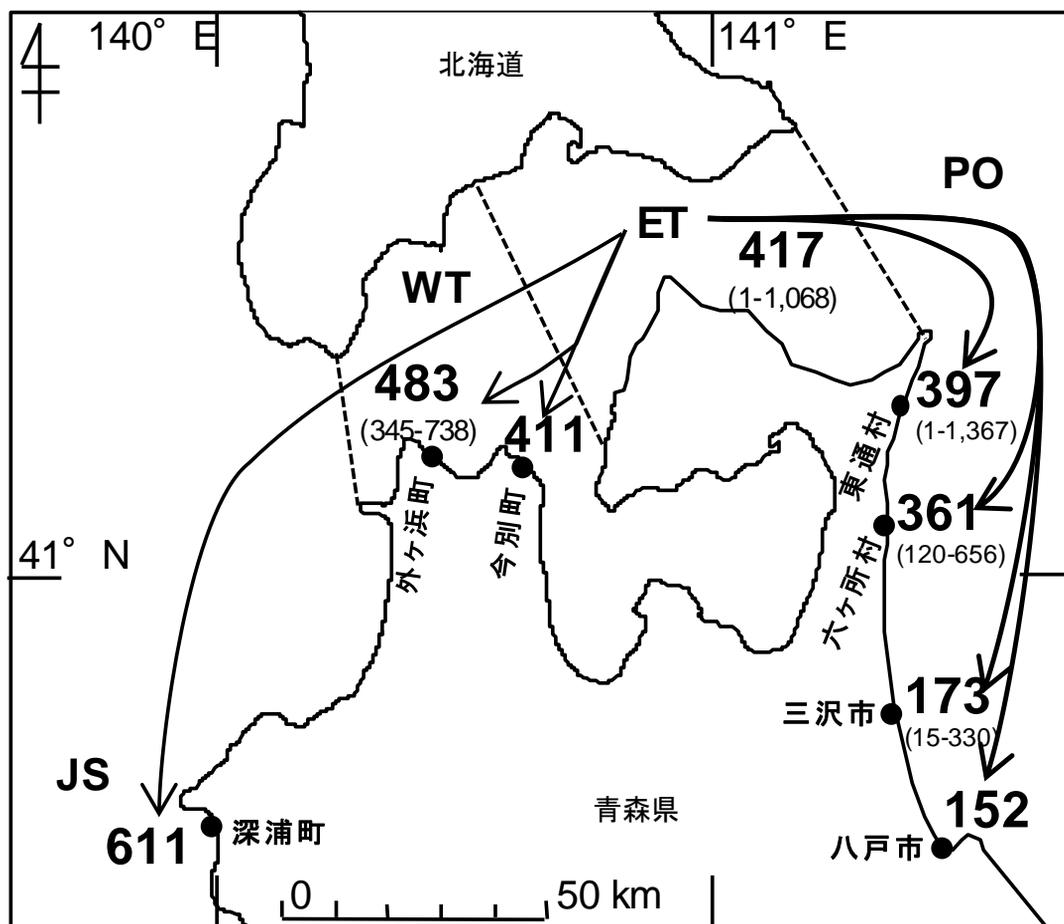


図2-1-5 青森県内における標識キアンコウ *Lophius litulon* の放流から再捕までに要した平均日数. 括弧内の数値は(最小-最大), JSは日本海, WTは津軽海峡西部, ETは津軽海峡東部, POは太平洋をそれぞれ示す.

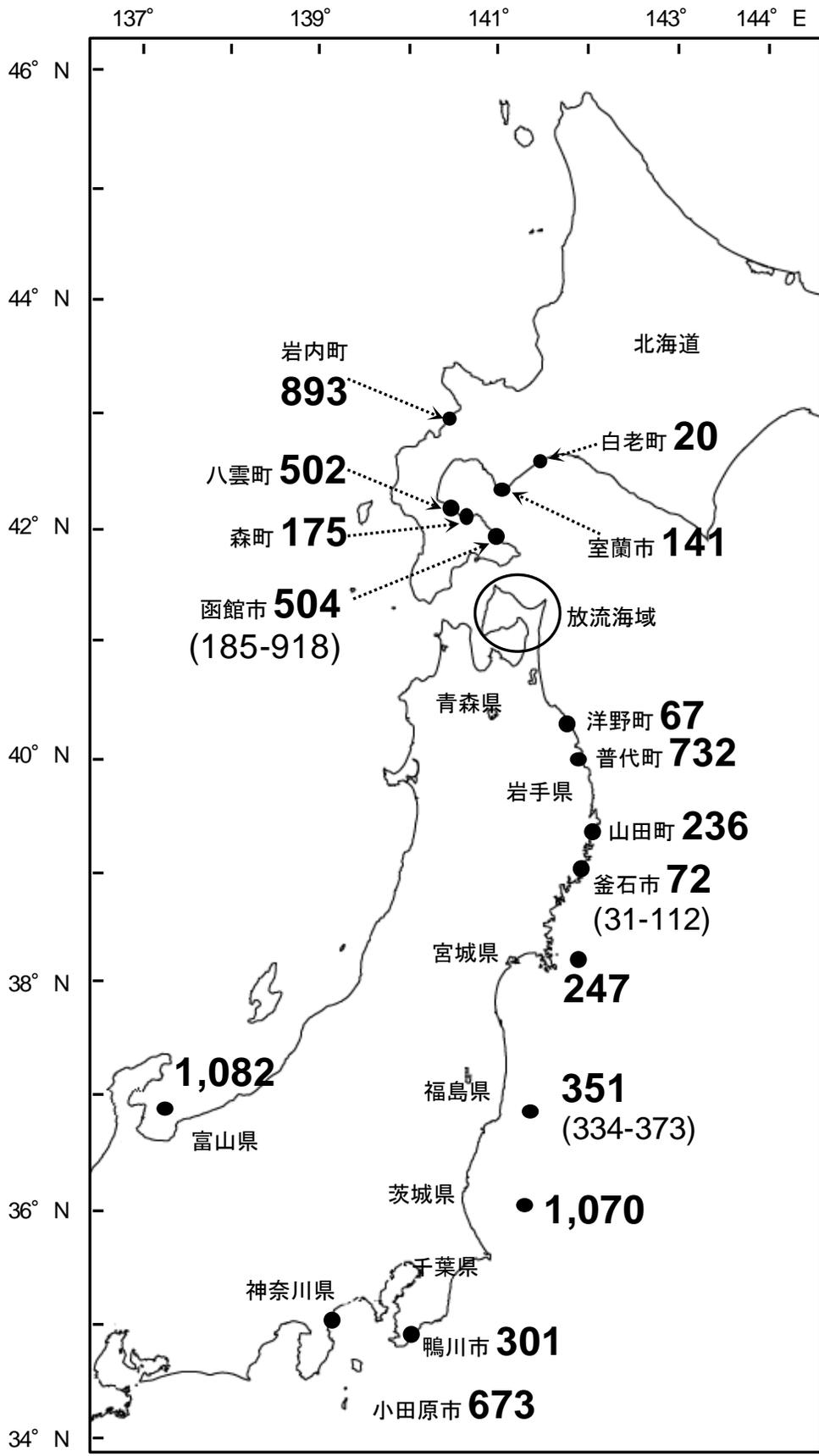


図2-1-6 青森県外における標識キアンコウ *Lophius litulon* の放流から再捕までに要した平均日数. 括弧内の数値は(最小-最大)を示す.

日), 北海道日本海側の岩内町で 893 日であった。北海道白老町に移動した個体は 20 日間で直線距離にして約 110 km を移動した。本州太平洋側に移動した個体の経過日数は, 岩手県沿岸で平均 209 日(31–732 日), 宮城県沿岸で 247 日, 福島県沿岸で平均 351 日(334–373 日), 茨城県沿岸で 1,070 日, 千葉県沿岸で 301 日, 神奈川県小田原市沿岸で 673 日であった。一方, 日本海側の富山県沿岸で再捕された個体の経過日数は 1,082 日で, 全再捕個体中で 2 番目に長かった。個体ごとに放流地点からの距離を概算し, 津軽海峡以外では津軽海峡西口と東口の中央部を屈曲点と仮定した直線を求め, 経過日数の間には相関を求めたが, 有意な相関は得られなかった($r=0.045$)。

再捕水深頻度の経月変化 再捕水深が明らかな 78 個体について, 1–7 月における各月の再捕水深の頻度分布を図 2–1–7 に示す。1, 2 月のモードは 75–99 m で, それぞれ 5 個体ずつ再捕された。3–5 月のモードは 25–49 m で, それぞれ 3 月 3 個体, 4 月 3 個体, 5 月 4 個体が再捕された。6 月のモードは, 50–74 m 及び 75–99 m の階級それぞれ 4 個体であった。

漁獲個体数の推移 2009–2016 年漁期(但し 2014 年漁期を除く)において, 蛇浦漁業協同組合のキアンコウの漁獲個体数は 5–6 月の期間に特に多かった(図 2–1–8)。この期間のむつ市関根浜沿岸の半旬別平均表層水温は 9.0–16.3°C であった。2014 年漁期は, 沿岸親潮が太平洋から津軽海峡中央部まで侵入したため(中屋ら 私信), 2 月第 4 半旬に 4.2°C と極端に低下し, その後同月第 5 半旬から翌 3 月第 5 半旬までの期間に 2.8–3.7°C と低い値で推移した。低水温が持続した 2 月第 5 半旬以降, 6 月第 4 半旬までキアンコウは漁獲されなかった。

成長 再捕した 137 個体のうち, 成長の季節変化の影響を排除するために放流か

頻度(個体数)

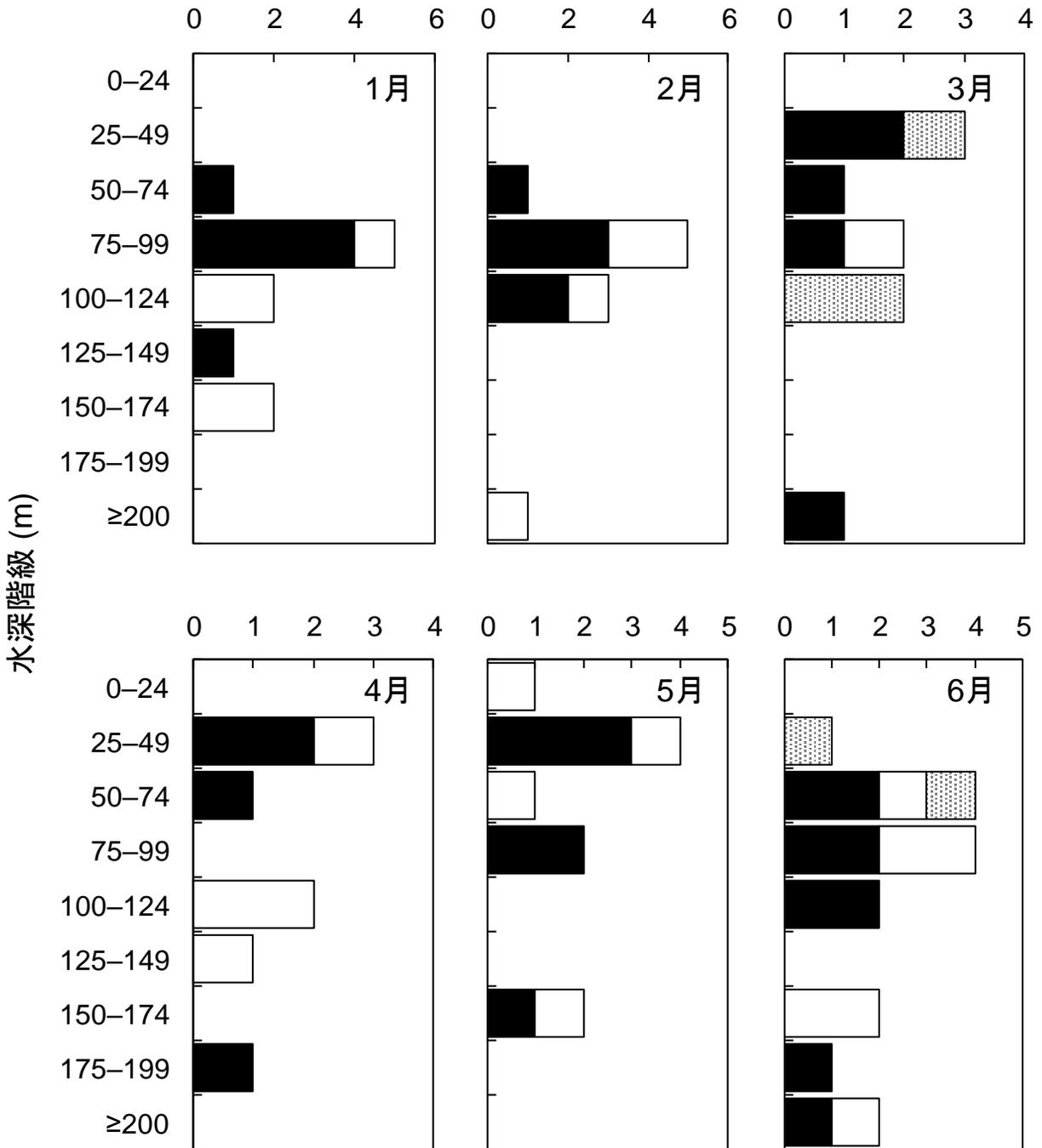


図2-1-7 標識キアンコウ *Lophius litulon* の再捕水深の月別頻度分布. 黒いバーは放流から再捕までに要した日数が1年未満のもの, 白いバーは1年以上2年未満のもの, 灰色は2年以上のものをそれぞれ示す.

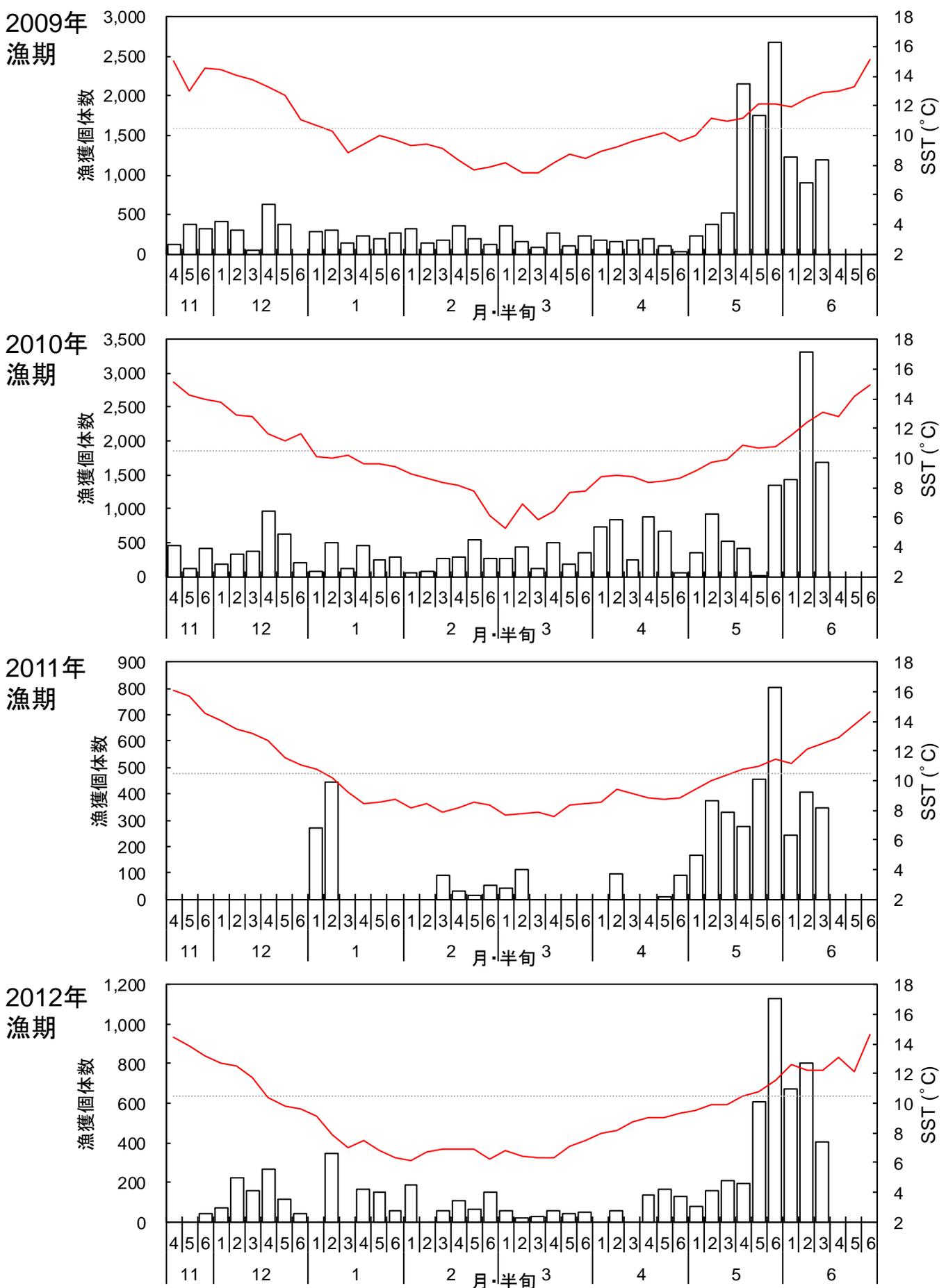


図2-1-8(1) 蛇浦漁業協同組合における半月別キアコウ漁獲個体数と表層水温の推移. バーは漁獲個体数, 赤線は表層水温を示す.

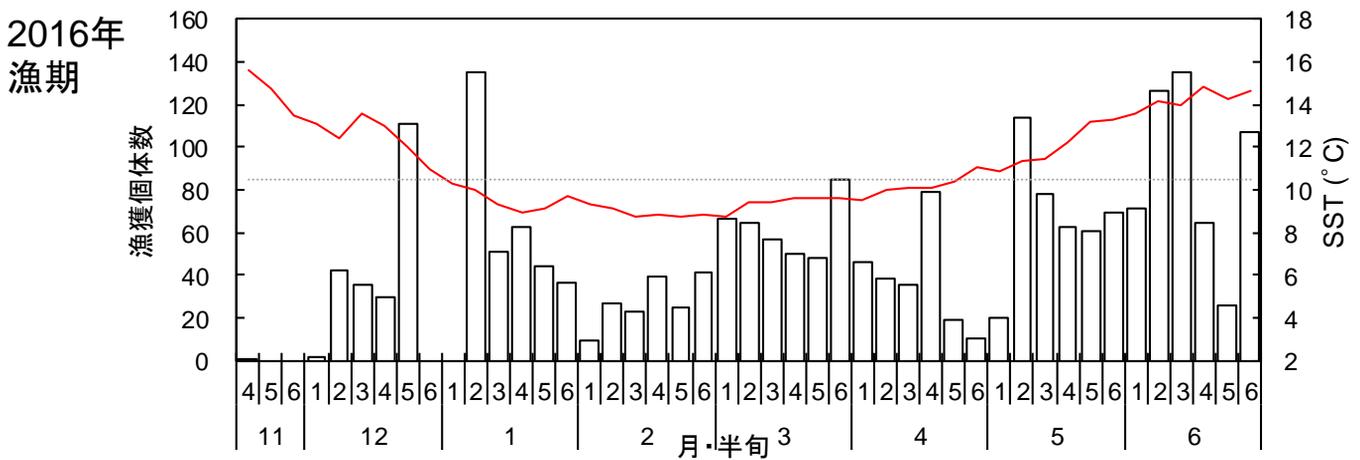
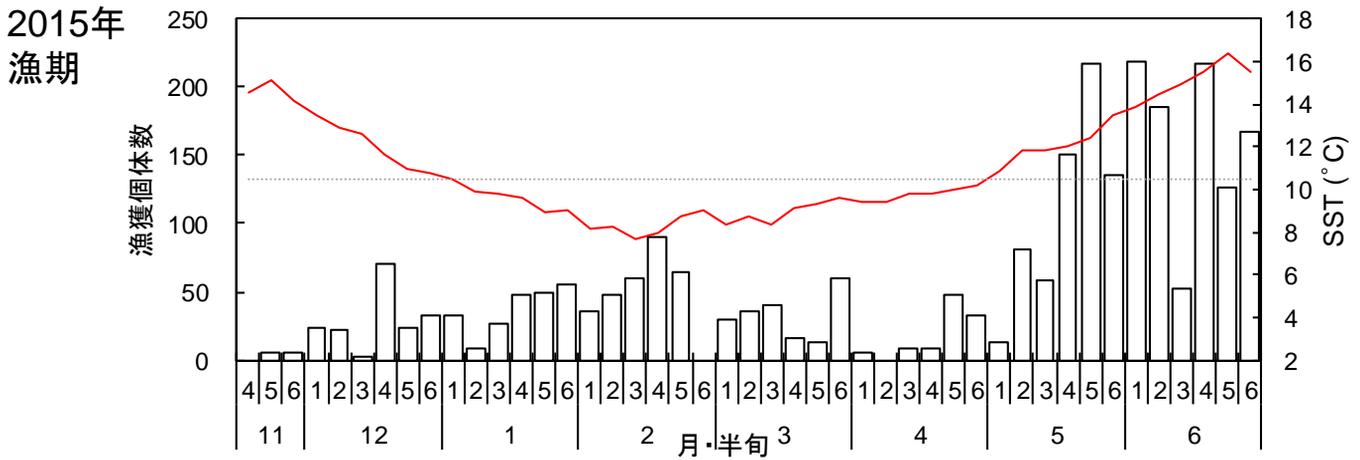
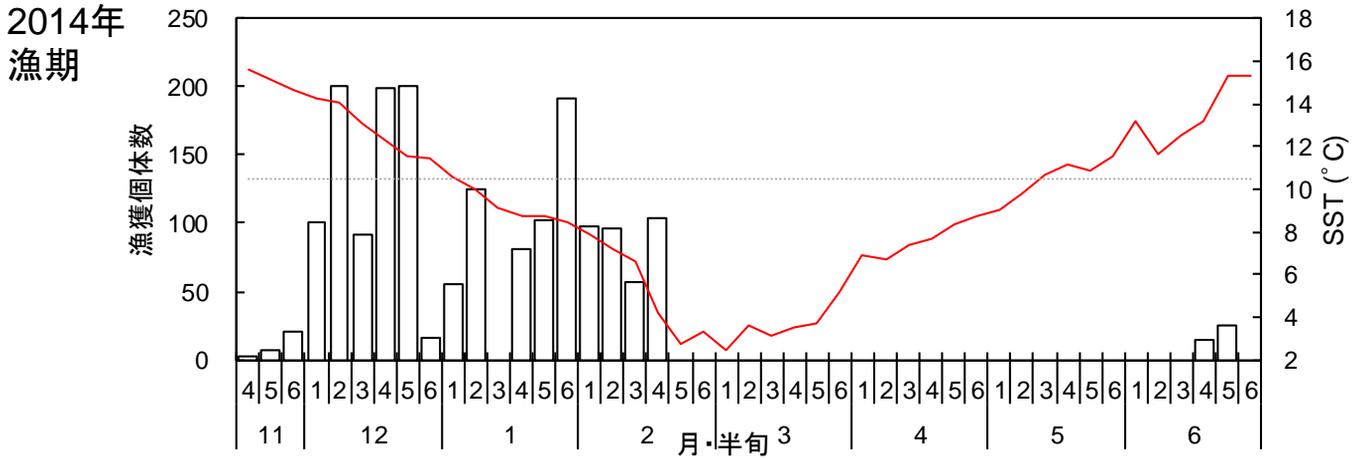
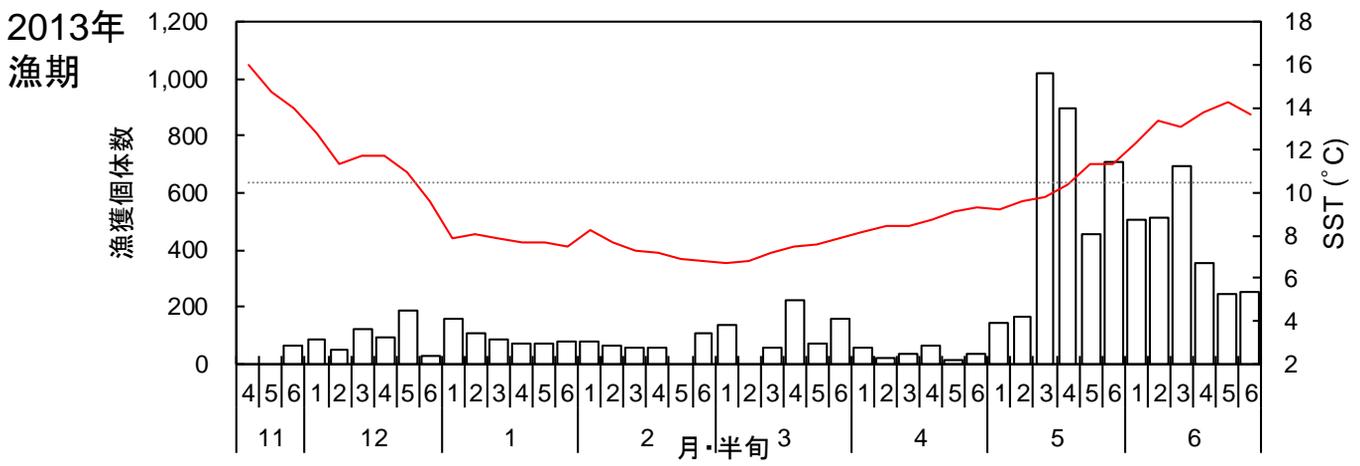


図2-1-8(2)

ら再捕までの日数が 1 年以上経過し、かつ全長の実測データがある 34 個体(300–600 mm TL)における年間平均成長量は、 97.8 ± 58.8 mm/年(±標準偏差)であった。

2-1-4 考察

これまでにキアンコウの標識放流に関する報告は、神奈川県沿岸で短期間に 9 個体が再捕された北沢・山本(2002)の報告のみである。本種の標識放流例が少ない要因は、本種が通常水深 200 m 前後の深所に分布することや、主な漁法が底曳網であり、活力良好な標識放流可能個体の確保が難しいことが挙げられる。一方、本研究では、水深約 80 m 以浅で刺網や空釣り縄などにより得られた標本を用いており、本種の主要漁場である太平洋北部海域で、最長で 1,362 日の長期再捕を含む 137 個体の再捕結果は、本種の移動生態や成長を解明する上で重要な情報を含んでいる。

全放流個体数 2,493 個体に対する再捕個体数は 137 個体で、再捕率が 5.5%と高く、また、放流から 1,362 日経過後にも再捕されたことから、本種の標識放流には今回使用したディスクタグが有効であることが確認された。一方で、放流地域別の再捕率は、むつ市関根浜での 1.8%から、むつ市大畑町での 13.9%まで大きな差がみられた。これは、前者は作業員が 1–2 名程度の底建網、後者は作業員が 5–8 名程度の定置網であり、漁法や漁獲から標識装着までの作業性の違いが標識魚の活力に影響を与え、再捕率に差異が生じたと推察された。

青森県津軽海峡東部海域から放流後に再捕された個体の 81.3%は、同海域と、隣接する同西部海域および同県太平洋海域で再捕され、基本的に、本種の移動、

回遊範囲は狭いと考えられた。一方、20 日後に直線距離で約 110 km 離れた北海道白老町まで移動した個体があった一方で、北海道日本海沿岸の岩内町まで 893 日後に、本州太平洋沿岸の神奈川県小田原市まで 673 日後、本州日本海沿岸の富山県富山市まで 1,082 日間かけて移動した個体も確認されたことから、本種は高い遊泳能力を有し、広範囲に移動することができることが明らかとなった。

二平(2003)は、東北海域のキアンコウには、恵山から三陸北部を中心とする北方低水温に適応した三陸北部系群と、常磐・鹿島灘の南側高水温に適用した常磐系群が存在していると推定している。今回、放流海域および隣接海域で再捕されたものに、北海道噴火湾沿岸周辺と岩手県で再捕された個体を加えて全放流個体の 91.9%が三陸北部海域(二平 2003)において再捕されており、本研究における標識放流の結果は二平の推定した三陸北部系群の存在を支持するものとなった。その一方で、常磐以南海域や日本海富山県沖で再捕された個体も存在することから、系群間での交流もあることがわかった。

本種の成長については、Yoneda *et al.* (1997)が東シナ海における漁獲物を対象に年齢形質を用いた報告、太平洋北部海域で堀(1993)、池川ら(2000)、二平・高橋(2001)、岩崎ら(2010)が、日本海北部海域で大澤・鈴木(2009)が、漁獲物体長組成から推定した報告があるが、標識放流により個体ごとの成長を直接観察したのは本研究が初めてである。大澤・鈴木(2009)は、山形県沿岸域に分布するキアンコウは、0 歳魚が 5–7 cm、1 歳魚が 15–25 cm、2 歳魚が 27–40 cm であること、岩崎ら(2010)は福島県沖において 11–12 月に漁獲加入した体長 20 cm 前後の小型魚は翌年の 5–6 月には 25 cm 前後、11–12 月には 35 cm 前後に成長することを、それぞれ報告している。本研究から算出された年間平均成長量 97.8 ± 58.8 mm/年は、

これらの結果と同等かやや小さく、第 5 章 2 で後述する成長解析結果と大差がなかった。

1-7 月における再捕水深の頻度を解析したところ、各月のモードは、1, 2 月 75-99 m, 3-5 月 25-49 m, 6 月 50-74 m 及び 75-99 m の階級であった。これらの深浅移動は、次章で報告するバイオロギングによる行動解析の結果と一致した。これらに加え、水槽内観察ではキアンコウは水面付近で産卵することや(星野 2006)、津軽海峡東部海域の表層付近でキアンコウのものと思われる卵帯の漂流が確認されていること(野呂・今村 2006)を勘案すれば、青森県津軽海峡東部沿岸の特に 75 m 以浅の海域はキアンコウの産卵場の一つであり、3 月頃から浅場への移動を始めて、5-6 月に生殖腺成熟のピークを迎えて産卵に至ると考えられた。当海域で最も漁獲量の多い蛇浦漁業協同組合では、5-6 月(表層水温 9.0-16.3 °C)になると漁獲量が急増した。これらの漁獲傾向は、小坂(1966)が報告した仙台湾におけるキアンコウの漁獲傾向とも一致し、産卵期の接岸回遊によって漁獲量の増加が生じるものと推定された。なお、2014 年漁期における 2 月第 5 半旬以降の漁獲量減少については、低水温のによる接岸の遅れのためであると考えられた。この現象については、第 6 章においてさらに考察する。

2-2 バイオロギングによる行動解析

2-2-1 目的

キアンコウは、津軽海峡東部沿岸における標識放流調査によって、再捕個体のうち81.8%が放流海域とその隣接する青森県日本海-太平洋海域で再捕され、標識放流後1年以上経過した個体の年間平均成長量は平均 97.8 ± 58.8 mm/年を示すことを明らかにした。しかし従来の標識放流法では移動中の経験水温や生息水深を知ることはいできない。そこでキアンコウの放流中の、より詳細な行動特性を解明し、資源管理方法の開発に資するために、1時間ごとに水温と水深を記録するデータロガーを装着した個体を放流した。

2-2-2 材料と方法

実験には、2010年6月4-14日までの間に、青森県下北郡風間浦村沖水深43-80mの海域で、刺網により漁獲された35-75cm TLのキアンコウ60個体を用いた。データロガーの装着は、前章における標識放流の方法と同様に、個体識別番号を刻印したディスクタグとともにビニールチューブで背びれ基部に結着し、全ての個体の全長を測定した上で、その場で速やかに放流した。

データロガーは、LAT-1100 (Lotek Wireless Inc., 空中重量 4.5 g, 31.5×15.0×5.6 mm)を使用した。メモリーは64 KBで、水深と水温を1時間ごとに記録するように設定した。水深の測定範囲は0-1,000 m(分解能 0.5 m)で、水温の測定範囲は-20-45°C(分解能 0.02°C)であり、記録期間は730日間とした。データロガーの表面には連絡先を記載して、再捕した漁業者から報告を受けたものを回収

した。回収したデータロガーは、Lotek LAT Reader (Lotek Wireless Inc.)を使用して、データを読み取った。得られた生息水深は 20 m ごとに、経験水温は 2 °C ごとに階級を設定して、頻度分布を解析した。また、生息水深に記録された水深データの前後の差を 1 時間後の鉛直方向への移動距離として算出し、解析に供した。昼夜は、国立天文台天文情報センターが公開している日の入りおよび日の出のデータのうち、日の出から日の入までを昼間、日の入から日の出までの時間を夜間とした(国立天文台天文情報センター <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/>, 2016 年 11 月 7 日)。

さらに、経験水温と潮汐の関係を解析するために、Microsoft Excel 2016 の FFT ツールを使用して各データをフーリエ解析し、パワースペクトルを比較した。なお、潮汐は気象庁が公開している観測資料のうち下北地点(青森県むつ市関根, 41°22'N, 141°14'E, 標高 -264.0 cm)における毎時潮位のデータを使用した(気象庁 <http://www.data.kishou.go.jp/db/tide/genbo/index.php>, 2012 年 1 月 20 日)。解析には、FFT ツールを使用するためにデータ数を 2 の n 乗の値に設定する必要があるため、便宜上、およそ 3 ヶ月分に相当する 2,048 個に設定した。即ち、2010 年夏季(2010 年 6 月 14 日 06:00–同年 9 月 7 日 13:00), 2010 年秋季(同年 9 月 7 日 14:00–同年 12 月 1 日 21:00), 2011 年冬季(同年 12 月 1 日 12:00–2011 年 2 月 25 日 5:00), 2011 年春季(同年 2 月 25 日 6:00–同年 5 月 21 日 13:00), 2011 年夏季(同年 5 月 21 日 14:00–同年 8 月 14 日 21:00), 2011 年秋季(同年 8 月 14 日 22:00–同年 11 月 8 日 5:00), 2012 年冬季(同年 11 月 8 日 6:00–2012 年 2 月 1 日 13:00), 2012 年春季(同年 2 月 1 日 14:00–同年 4 月 26 日 21:00)の 8 季に分けて行った。

最後に、各個体における月の旬別の平均経験水温および平均生息水深と、各地

先の平均水温を比較して移動経路を推察した。まず、各個体における月の旬別、即ち各月 1–10 日(上旬), 11–20 日(中旬), 21–末日(下旬)ごとの平均経験水温および平均生息水深を算出した。次に、生息海域周辺と考えられる青森県下北郡大間町大間崎および同郡東通村尻屋崎, 北海道函館市大鼻岬, 同市恵山岬の各地先について、気象庁が公開している北海道周辺・日本東方海域旬平均表層水温 (http://www.data.kishou.go.jp/db/hakodate/jun/t100_h.html, 2016 年 11 月 7 日)より水深 100 m および 200 m における月の旬別の平均水温を読み取った。各個体における月の旬別の平均生息水深が 150 m 未満の場合では 100 m 水深の海水温と, 150 m 以上の場合では 200 m 水深の海水温と, 各個体の平均経験水温を比較した。

2-2-3 結果

データロガー装着魚の再捕 放流した 60 個体中, 2016 年 11 月までに再捕されたのは 10 個体で, 再捕率は 16.7%であった(図 2-2-1, 表 2-2-1)。この再捕率は, ディスクタグの 5.5%と比べて, 有意に高かった(G 検定; $p=0.0029$)。データの取得期間は, 141–723 日の範囲にあり, 3 個体で 1 年以上, さらに 1 個体では約 2 年のデータを取得できた。ここで, 記録期間が短かった個体から順に(a)–(j)とする。再捕場所は, (a)が北海道室蘭市, (h)が同函館市で, (i)が青森県東通村白糠, それ以外は放流地点と同じ青森県風間浦村で再捕された。放流地点の水深は 55 m から 80 m と概ね同じであったのに対して, 再捕水深は(b)の 14 m から(d)の 140 m まで広い範囲となった。放流時と再捕時の全長から, 算出した 1 年当たりの成長量は, (a)の 0.0 cm/年から(c)の 35.5 cm/年まで広い範囲に亘った。なお, (h)については, 再

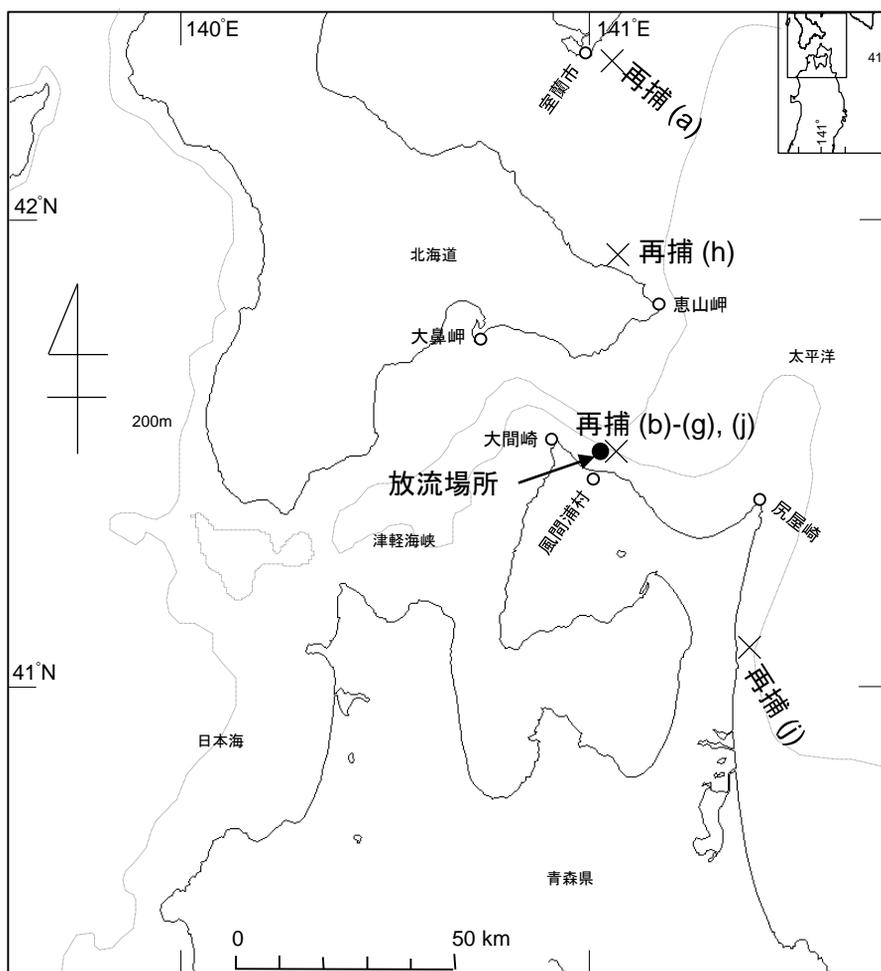


図2-2-1 データロガー装着キアンコウ *Lophius litulon* の放流および再捕場所の位置図. ●印は放流場所, ×印は再捕場所, 点線は水深200 m帯をそれぞれ示す。

表2-2-1. データロガー再捕キアンコウ *Lophius litulon* の詳細

記号	記録開始日	記録終了日	データ数 (時間)	再捕場所	漁法	放流 水深 (m)	再捕 水深 (m)	記録 期間 (日)	放流時 全長 (cm)	再捕時 全長 (cm)	年平均成長 (cm/年)
(a)	2010年6月14日	2010年11月2日	3,382	北海道室蘭市	定置網	69	20	141	60.0	60.0	0.0
(b)	2010年6月11日	2010年11月30日	4,133	青森県風間浦村	定置網	55	14	172	70.0	73.0	6.4
(c)	2010年6月12日	2010年12月14日	4,444	青森県風間浦村	刺網	68	80	185	51.0	69.0	35.5
(d)	2010年6月12日	2010年12月27日	4,754	青森県風間浦村	刺網	80	140	199	55.0	58.4	6.2
(e)	2010年6月14日	2011年2月14日	5,933	青森県風間浦村	刺網	80	90	245	55.0	63.6	12.8
(f)	2010年6月13日	2011年6月7日	8,619	青森県風間浦村	刺網	69	70	359	53.0	56.0	3.1
(g)	2010年6月10日	2011年6月10日	8,761	青森県風間浦村	刺網	69	70	365	45.0	67.6	22.6
(h)	2010年6月10日	2011年7月25日	9,843	北海道函館市	定置網	70	50	410	35.0	— ^{*2}	— ^{*2}
(i)	2010年6月13日	2012年3月3日	15,097	青森県東通村	刺網	80	— ^{*2}	629	57.0	61.6	2.7
(j)	2010年6月10日	2012年6月2日 ^{*1}	17,348	青森県風間浦村	刺網	80	110	723	52.0	75.0	11.6

*1 再捕日は2013年3月5日, *2 記録なし.

捕水深やその時の体長データが得られなかった。装着したデータロガーからデータを読み取り、それぞれ(a)3,382, (b)4,133, (c)4,444, (d)4,754, (e)5,933, (f)8,619, (g)8,761, (h)9,843, (i)15,097, (j)17,348 件の生息水深および経験水温のデータを回収できた(図 2-2-2, 付図 2-2-1, 表 2-2-1)。全体的に、生息水深は、6-8 月には急激な変化を繰り返したが、それ以外には比較的安定していた。また、経験水温は、2-5 月に安定していたが、それ以外には一定の周期で急激な変化を繰り返した。即ち、10-5 月に生息水深が比較的安定したにも関わらず、うち前半、10-1 月には経験水温が一定の周期で急激な変化を繰り返した。全ての個体で、深夜をピークとする急激な水深変化が頻繁に発生し、この後に昼間の数時間から数日、長いもので数週に渡って水深が安定するという傾向が確認された(図 2-2-2)。今回の調査で最も遠隔地である北海道室蘭沖で再捕された(a)では 2010 年 8 月 15 日-同年 9 月 7 日、深夜をピークとするスパイク状の水深変化が毎日発生していたが、昼間に水深が安定することはなく、22-308 m の間を激しく上下し、それに合わせて水温も 2.9-17.1 °C と激しく上下した(図 2-2-2, 付図 2-2-1)。一方、同様に遠隔地である北海道函館市で再捕された(h)でも、2011 年 6 月 27 日-再捕日まで、深夜をピークとするスパイク状の水深変化が 0-396 m の間でほぼ毎日発生していたが、それに合わせて水温が上下する様子は確認できなかった(図 2-2-2, 付図 2-2-1)。

生息水深と経験水温 生息水深は 1-444 m で、200 m 未満の頻度が占める割合は平均 88.5%であった(図 2-2-3)。生息水深の頻度分布について、モードの推移を比較した結果、放流直後の 2010 年 6 月を除いて、7 月以降のデータも取得できた(a-j)の 10 個体中、(d)・(f)以外の 8 個体では 8-9 月に深場へ潜水して、10 月-翌年 1 月に浅場へ浮上、2 月から再び深場へ潜水して、4-7 月に再び浅場へ浮上して

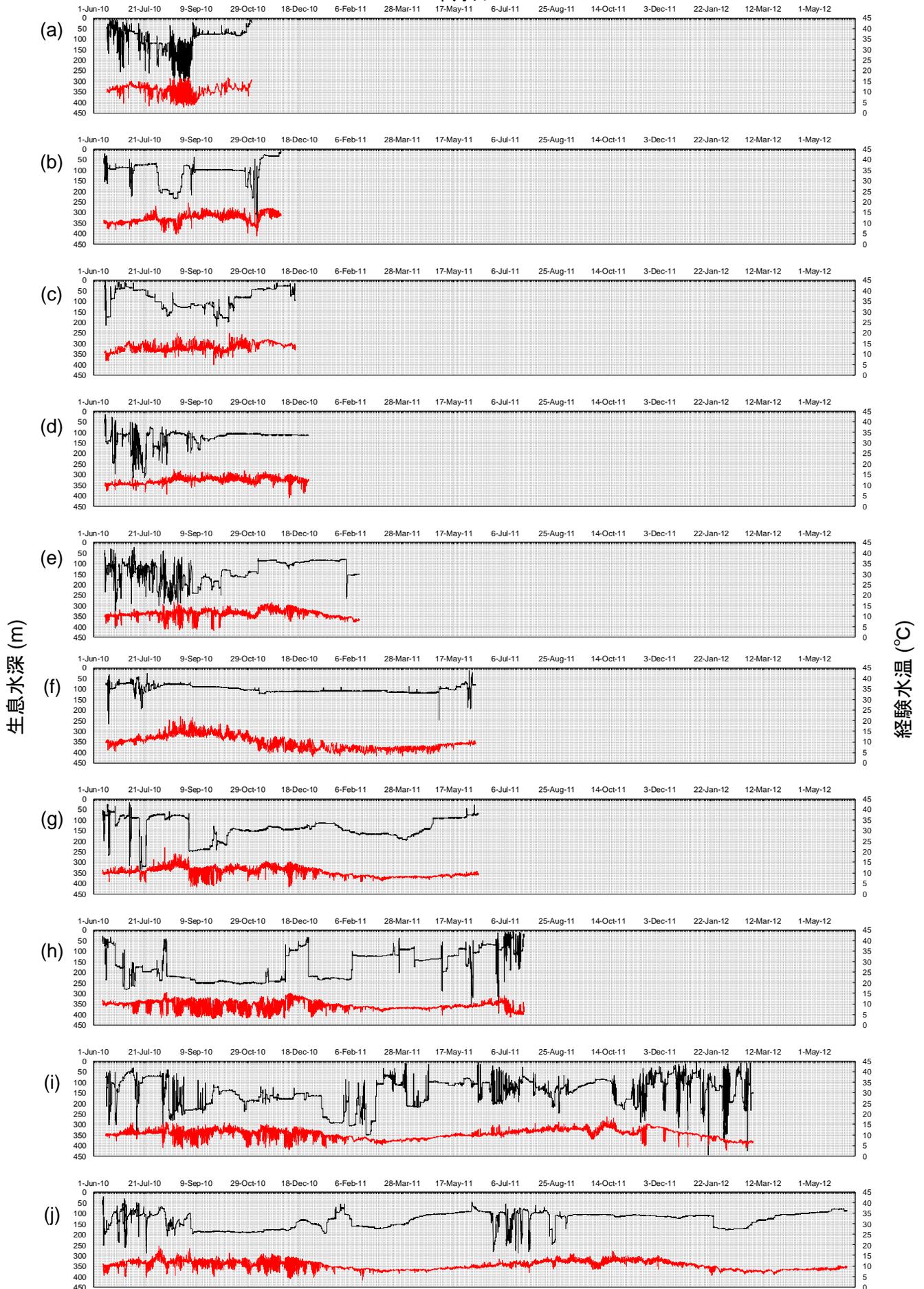


図2-2-2 再捕されたデータロガー装着キアンコウ *Lophius litulon* から得られた生息水深と経験水温の全データ。黒線が生息水深、赤線が経験水温はそれぞれ示す。

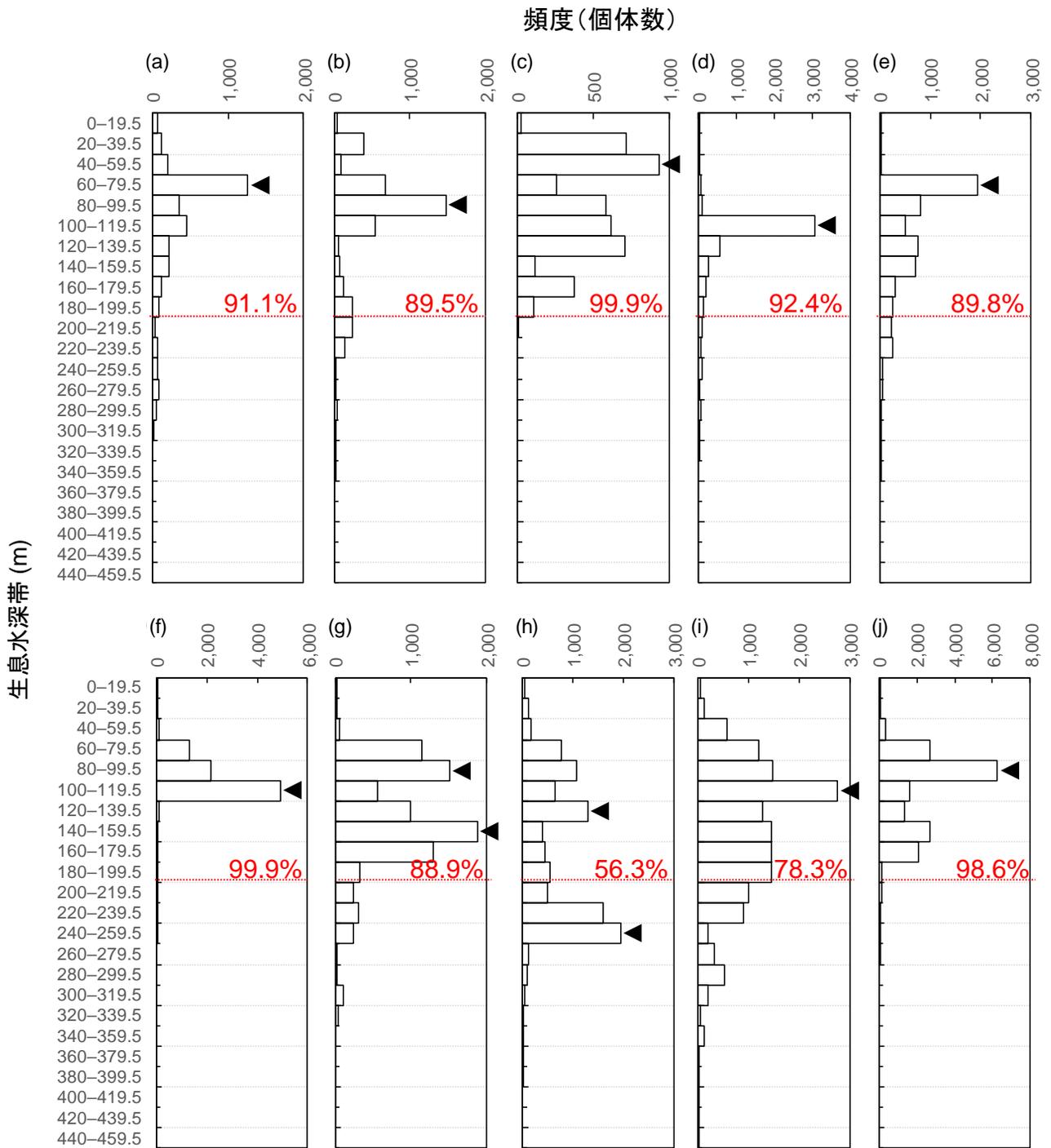


図2-2-3 データロガー装着キアコウ *Lophius litulon* の生息水深帯の頻度分布. ▲印は各個体のモード, 赤線は水深200 m, 赤いラベルは水深200 m以浅の頻度が占める割合を示した.

いた(図 2-2-4)。例えば(i)は, 2010 年 6 月に放流後, 水深 60–79.5 m の海域から 7–8 月にかけて段階的に下降して, 9–11 月に水深 160–179.5 m に着底, 12 月–2011 年 1 月にかけて 120–159.5 m に上昇して, 3–4 月には再び水深 140–159.5 m へ下降, 4–8 月は水深 60–79.5 m へ上昇していた。9 月–2012 年 1 月まで水深 100–119.5 m に下降して, 2 月に水深 140–159.5 m 以深へ下降, 再び 3–6 月にかけて水深 60–79.5 m に向けて段階的に上昇した。

経験水温は 2.78–22.02°C の範囲で, そのうち 6.0 °C 以上 16.0°C 未満のデータが占める割合は平均 95.3%であった(図 2-2-5)。また, 漁獲量が少ない下半期(7–12 月)と漁獲量が多い上半期(1–6 月)に分けて解析したところ, 漁獲量が少ない下半期では, 8.0°C 以上 14.0°C 未満のデータが占めた割合は平均 74.4%であった(図 2-2-5)。一方, 漁獲量が多い上半期では, 4.0°C 以上 10.0°C 未満のデータが占める割合は平均 83.0%であった(図 2-2-5)。

1 時間後の鉛直方向への移動距離 1 時間後の鉛直方向への移動距離は 0.0–284.5 m の範囲であった。鉛直方向への月別総移動距離は, (b)の 11 月と(i)の周年以外では総じて 6–8 月に高い傾向を示した(図 2-2-6)。鉛直移動距離は夜間のデータはが占める割合は平均 69.6%を占め, 全体的に高かった(図 2-2-6)。

経験水温と潮汐の関係 全個体の経験水温と潮汐のパワースペクトルを比較した(図 2-2-7)。その結果, 全 8 季の潮汐において 11.6 および 23.1 μ Hz, 即ち約 24 時間と 12 時間の周波数にピークが確認された。一方, 2010 年夏–2010 年秋季のキアコウの経験水温から得られたパワースペクトルにおいても, 潮汐と同様の周波数においてピークが確認されたが, 2011 年冬季にはこれらのピークが半減し, 2011 年春季以降は最大 300 未満と極めて微弱になった。

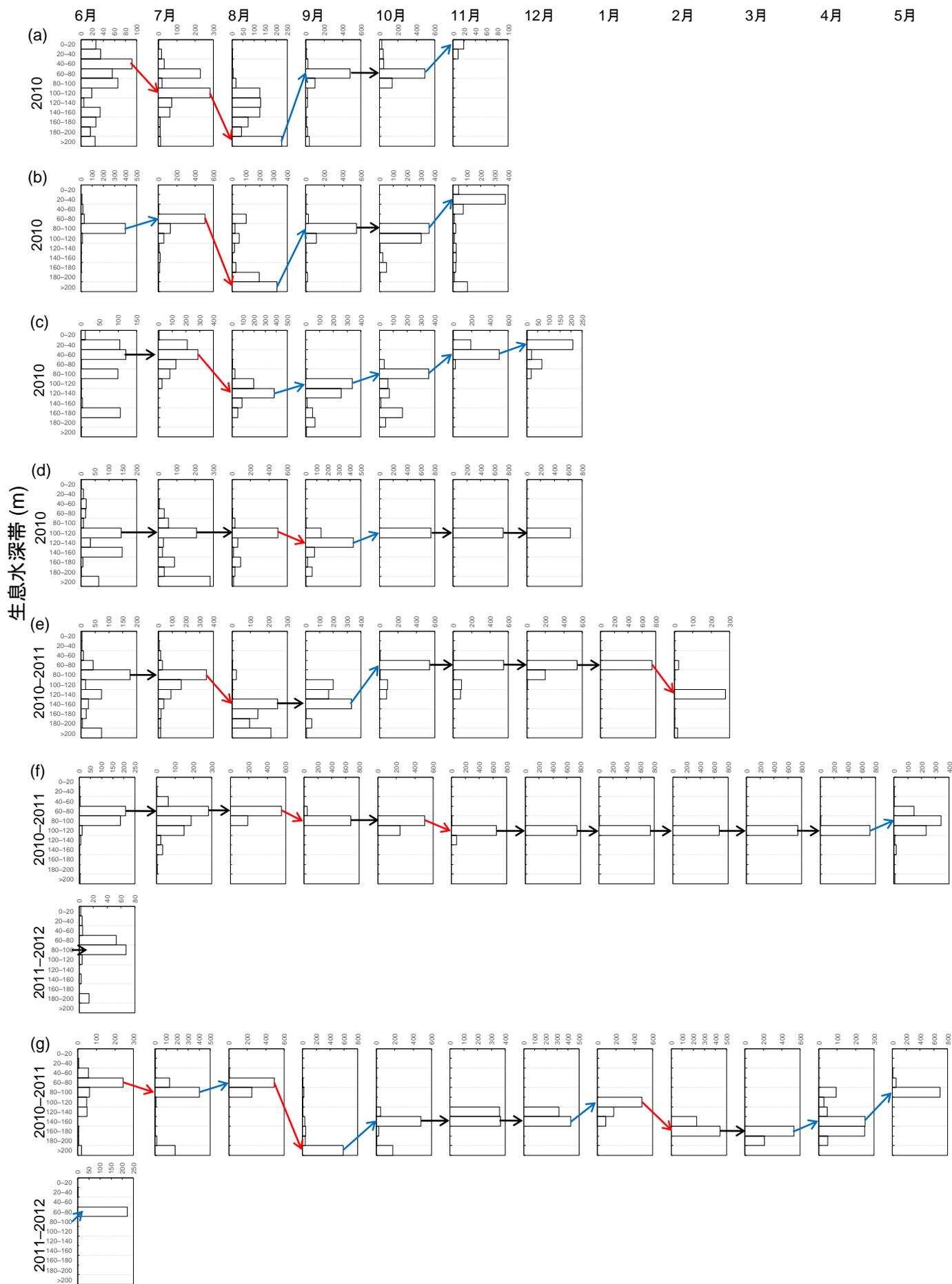


図2-2-4(1) データロガー装着キアンコウ *Lophius litulon* の生息水深帯の頻度分布の月推移. 黒い矢印はモードの変化なし, 赤い矢印はモードの下降, 青い矢印はモードの上昇をそれぞれ示す.

頻度(データ個数)

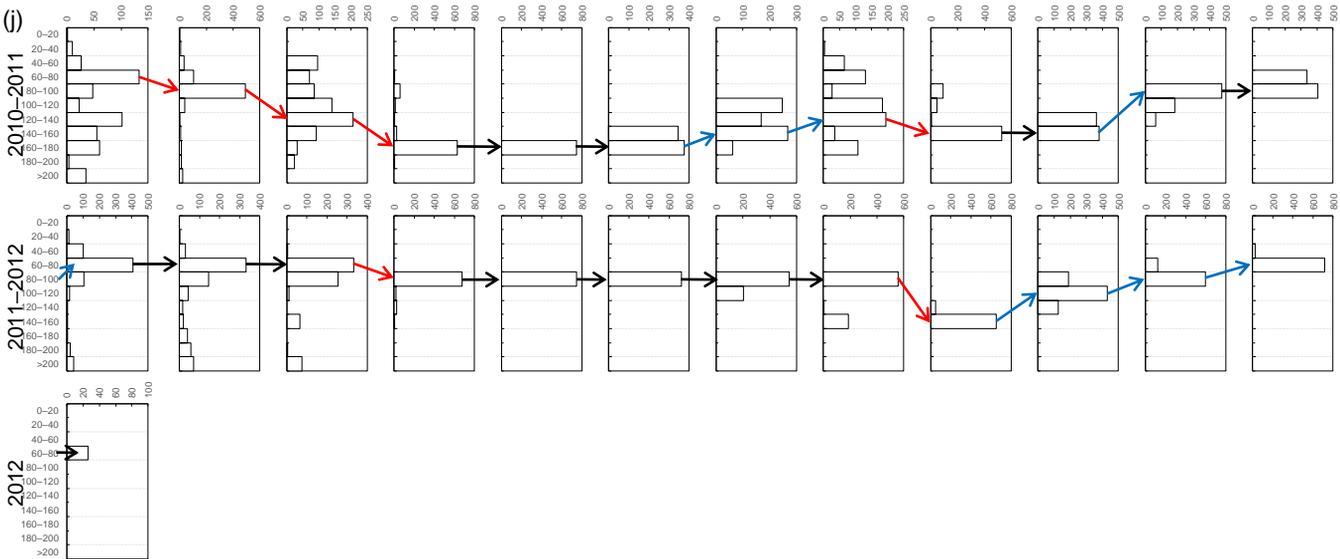
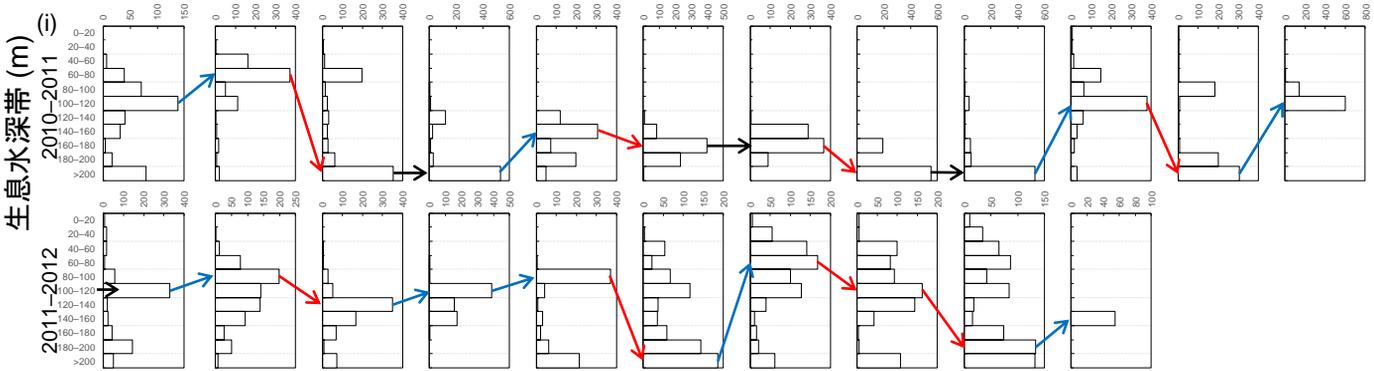
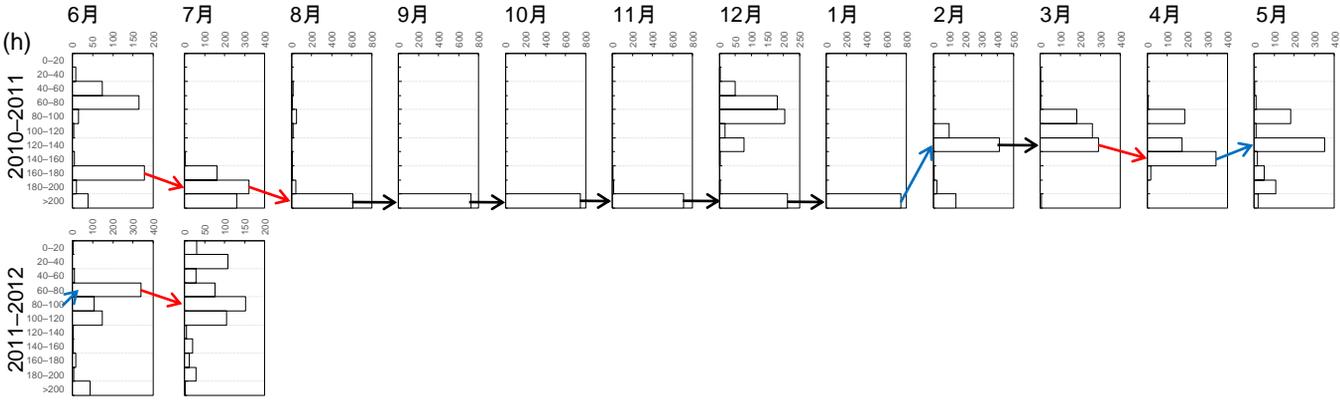


図2-2-4(2)

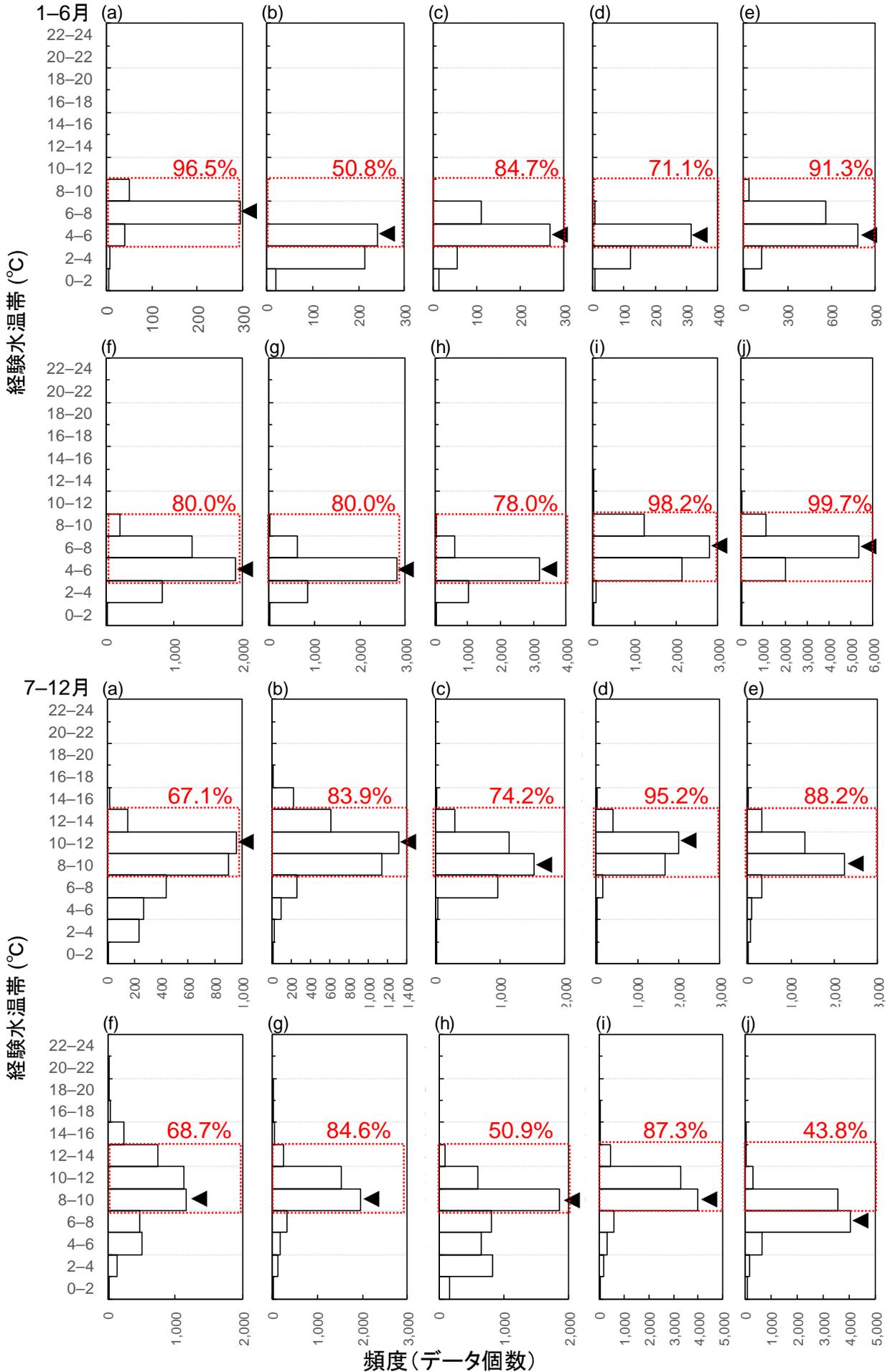
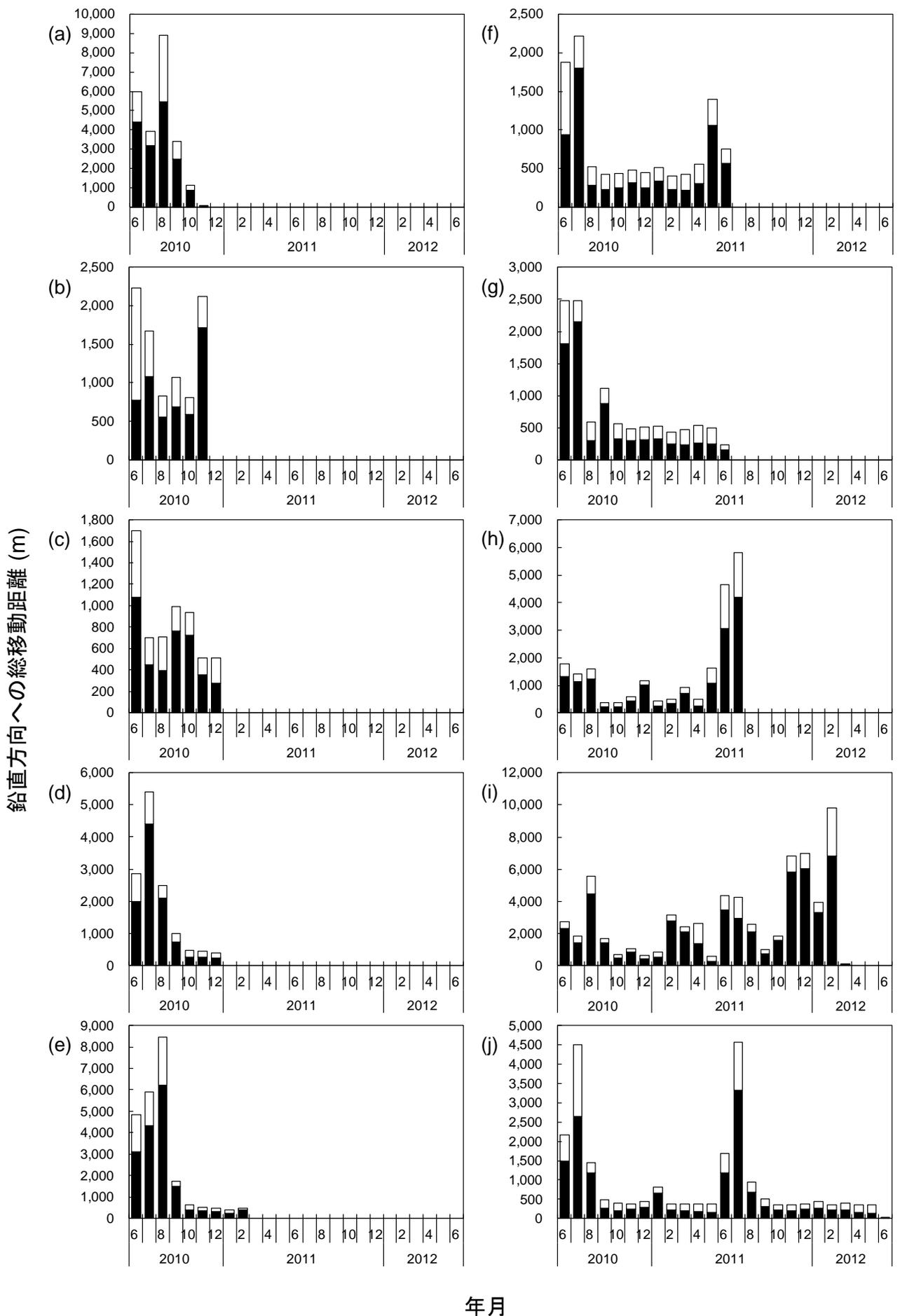


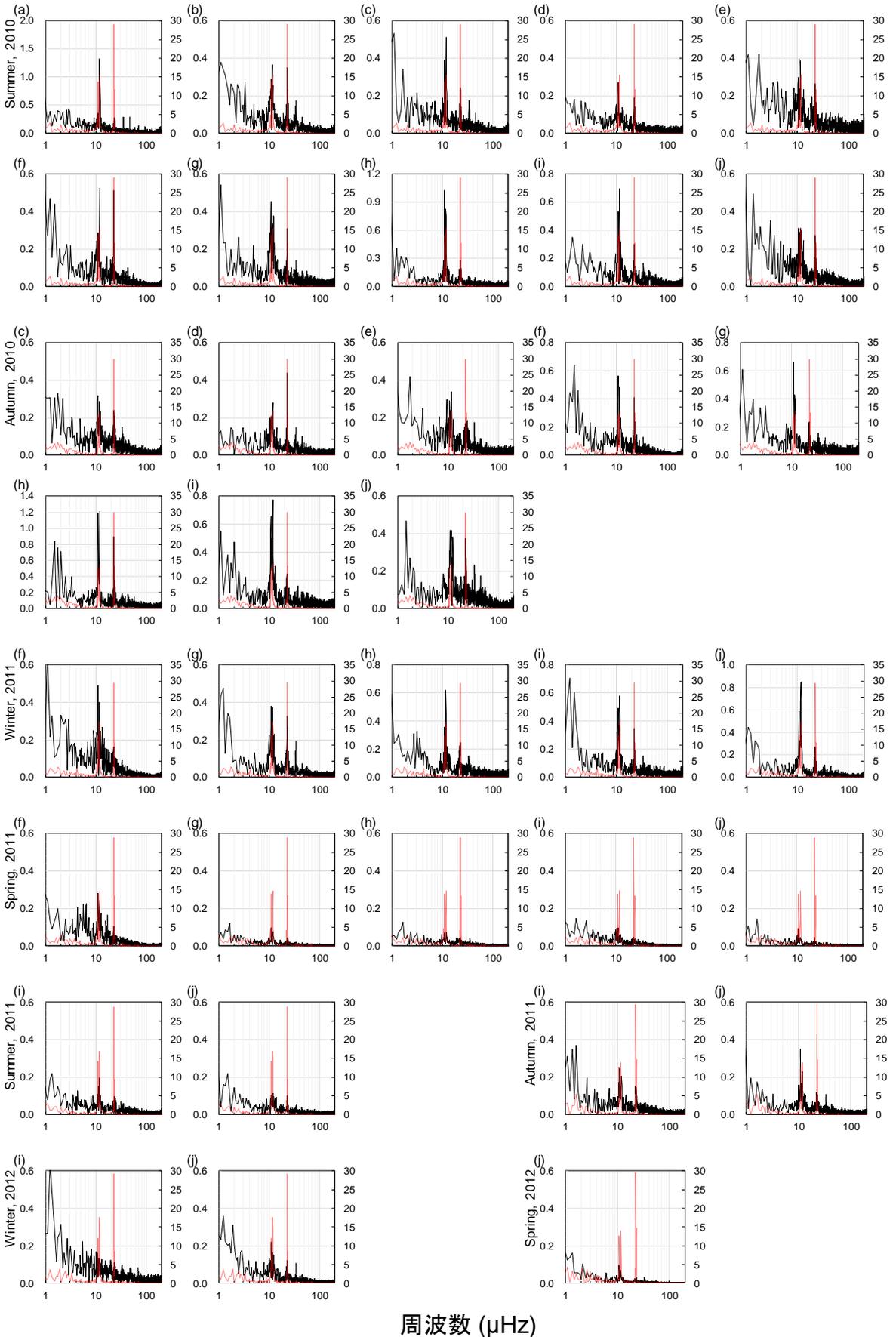
図2-2-5 データロガー装着キアコウ *Lophius litulon* の経験水温帯の頻度分布の季節変化. ▲印は各個体のモード, 赤線は1-6月・7-12月それぞれ10-14・4-10°Cの範囲, 赤いラベルはそれぞれ時期で各範囲温度の頻度が占める割合を示した.



年月

図2-2-6 データロガー装着キアコウ *Lophius litulon* の鉛直方向への総移動距離の月推移. 黒バーは夜間, 白バーは昼間をそれぞれ示す.

経験水温の振幅 ($\times 10^{-3}$)



潮位の振幅 ($\times 10^{-3}$)

周波数 (μHz)

図2-2-7 データロガー装着キアコウ *Lophius litulon* の経験水温および潮位を季節別にフーリエ変換して表したパワースペクトルの季節変化. 黒線が経験水温を, 赤線が潮位をそれぞれ示す.

再捕個体の生息水深における月の旬別の平均経験水温と各地先水温推移の比較 各個体における月の旬別の平均水温および平均水深と各地先の水温とを比較した(図2-2-8, 9)。青森県内で再捕された個体のうち, (b)–(e)および(g)の生息水深0–149.5 m および 150 m 以深における月の旬別の平均経験水温については, それぞれ大間崎地先水深 100 m および 200 m の水温変化に類似した。そのうち(c)は, 2010年6月下旬から同年7月中旬にかけて, 生息水深0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が, 尻屋崎地先水深 100 m の水温変化に類似していた。(f)については, 放流直後–同年10月下旬の生息水深0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が, 大間崎地先水深 100 m の水温変化に類似した。一方, 同年11月上旬から生息水深0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が大間崎地先水深 100 m の水温推移と比較して著しく低下し, 大鼻岬地先および恵山岬水深 100 m の水温推移に類似した。(i)については, 放流直後–同年8月上旬の生息水深0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が, 大間崎地先水深 100 m の水温変化に類似していた。同年8月中旬–2011年2月下旬の生息水深0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が, 大間崎地先および大鼻岬地先水深 200 m の水温変化に類似していた。2011年4月下旬–同年6月中旬の生息水深0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が, 大間崎地先および尻屋崎地先水深 100 m の水温変化に類似していた。2011年7月上旬以降の生息水深0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温は, 大間崎地先および尻屋崎地先水深 100 m の水温変化よりは低く, 大鼻岬地先および恵山岬地先水深 100 m の水温変化よりは高く推移した。(j)については, 放流直後–2011年6月上旬の生息水深0–149.5 m および 150 m 以深における月の旬別の平均経験水温が, それぞれ大間崎地先水深 100 m

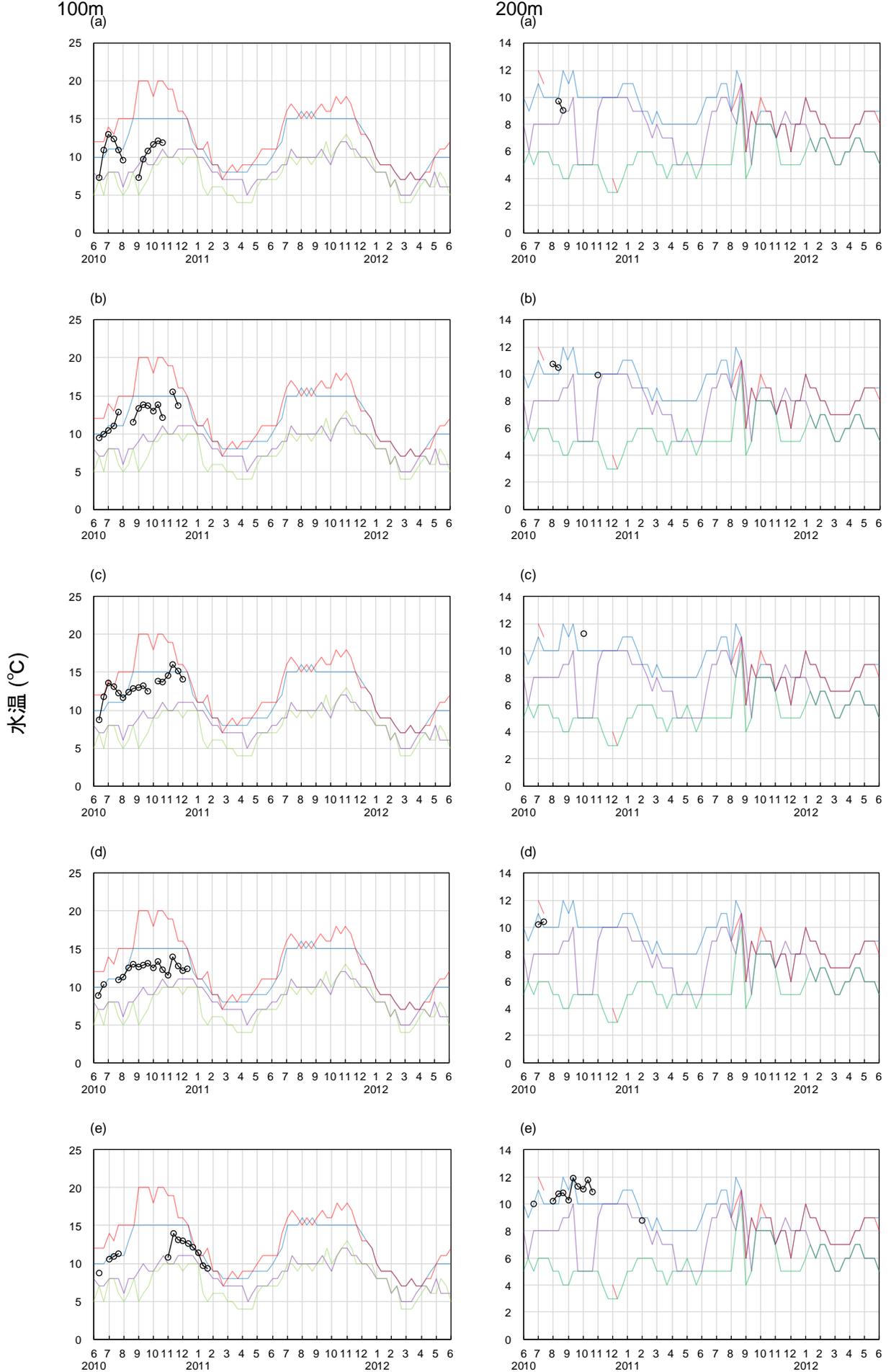
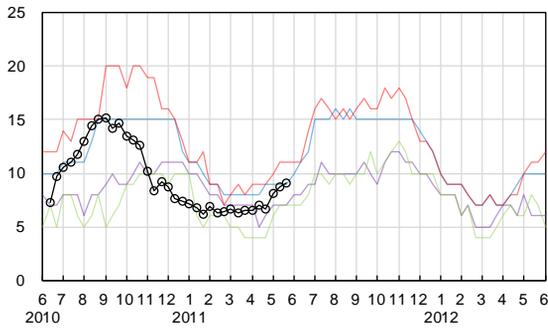
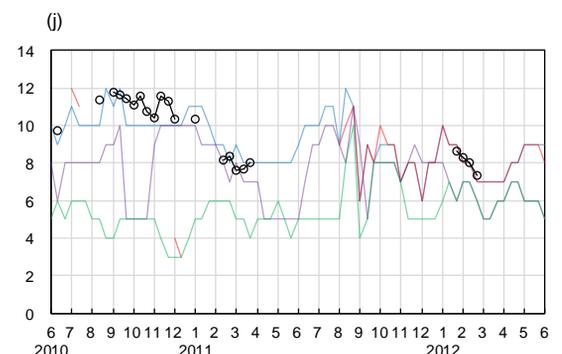
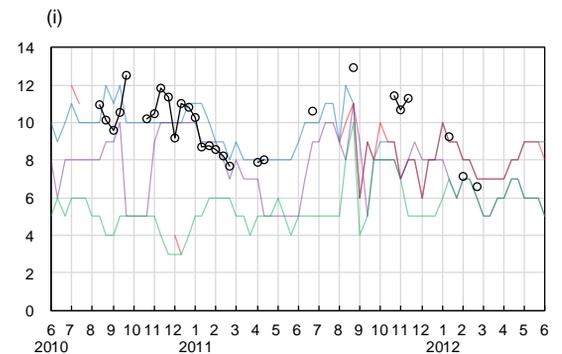
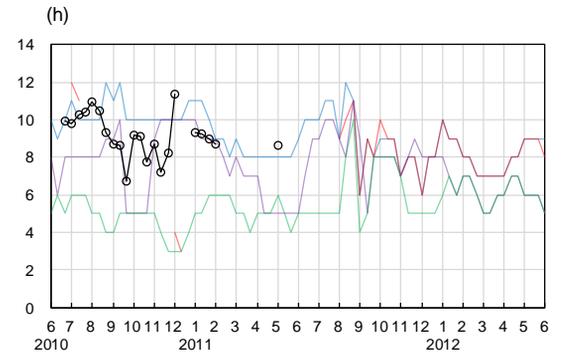
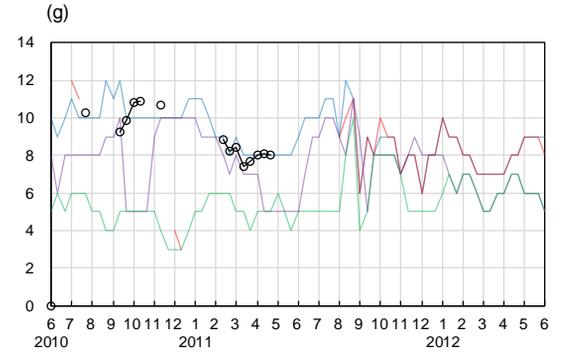


図2-2-8(1) データロガー装着キアンコウ *Lophius litulon* の生息水深0-150 mおよび150 m以深における月の旬別の平均経験水温と、各地先水深100 mおよび200 mにおける水温推移との比較。○印は経験水温、青線は大間崎、赤線は尻屋崎、紫線は大鼻岬、緑線は恵山岬の水温をそれぞれ示す。

100m



200m



水温 (°C)

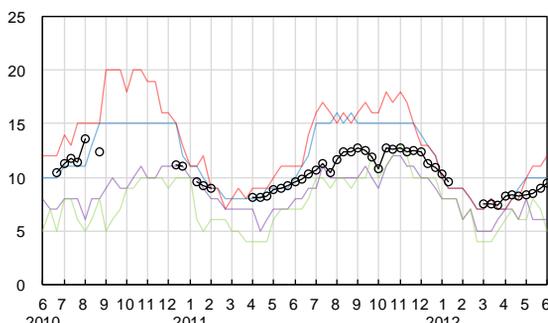
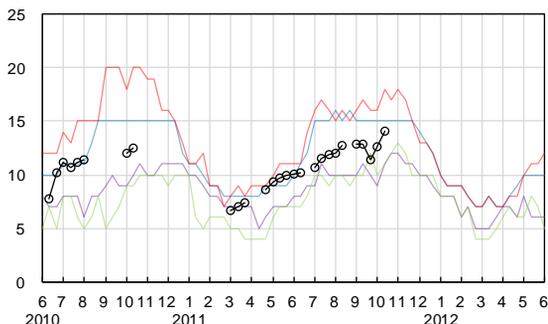
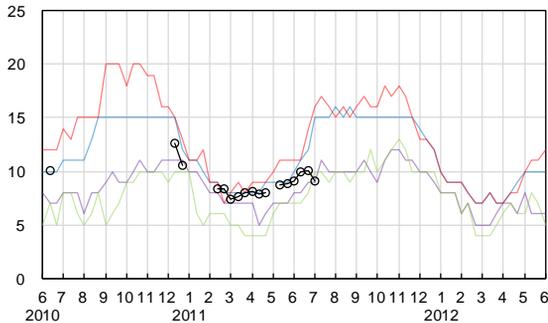
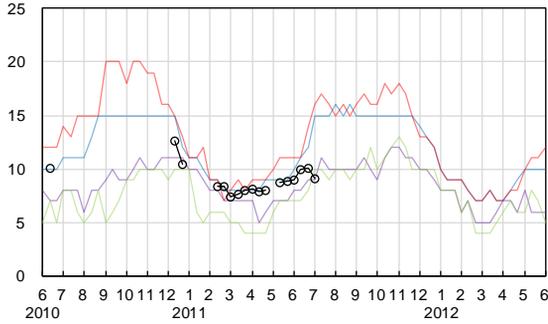


図2-2-8(2)

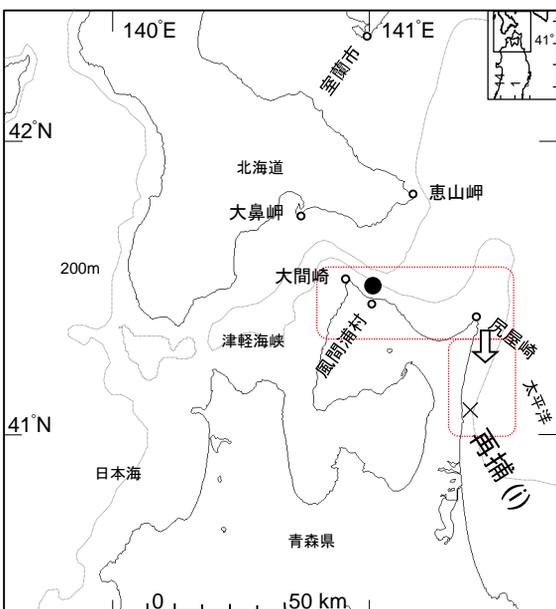
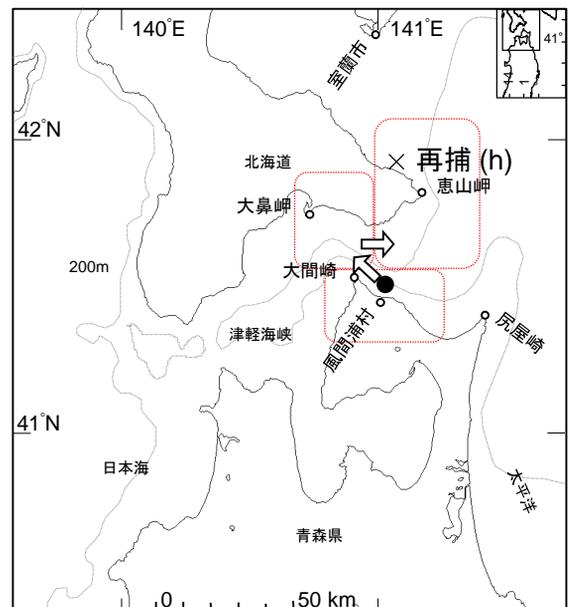
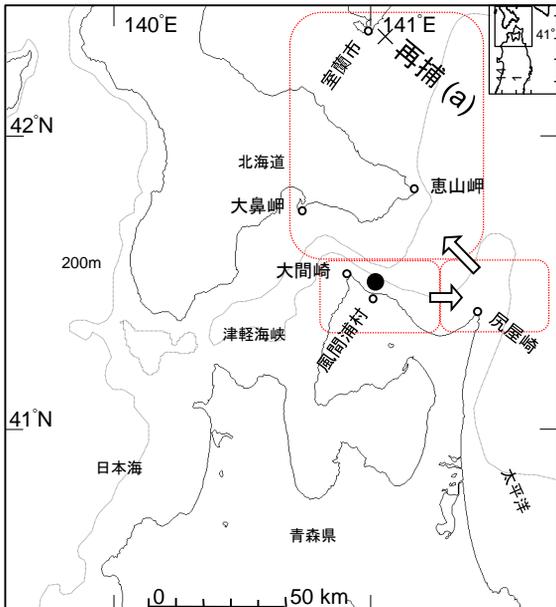
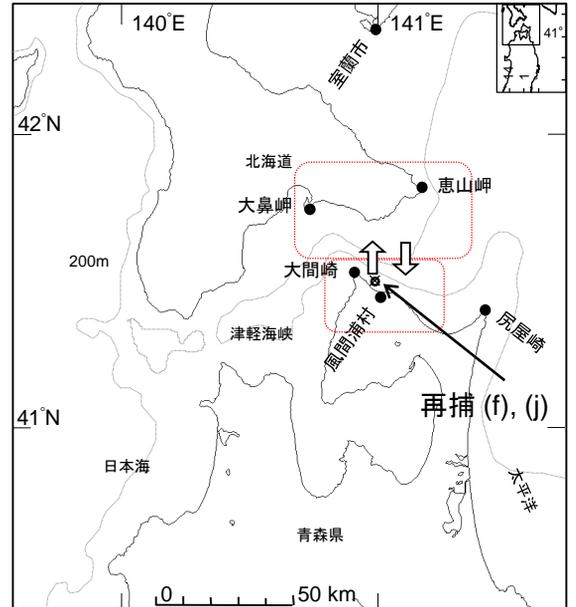
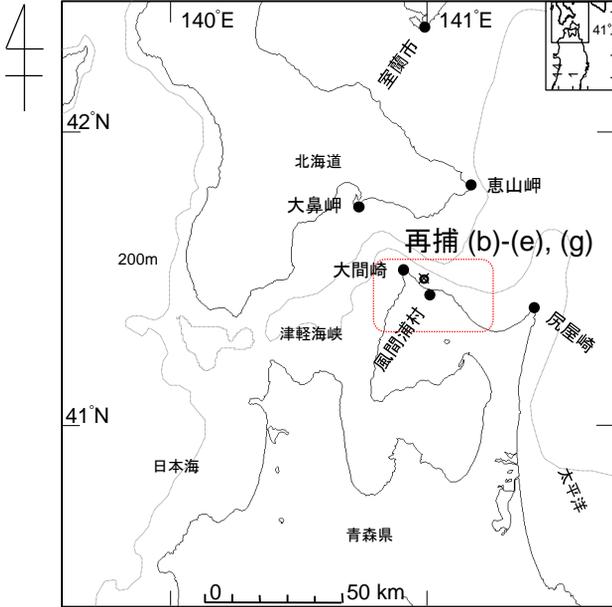


図2-2-9 推察されたデータロガー装着キアコウ *Lophius litulon* の移動経路. ●印は放流場所, ×印は再捕場所, 点線は水深200 m帯をそれぞれ示す。

および 200 m の水温変化に類似した。2011 年 7 月上旬–同年 11 月下旬の生息水深 0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が、大鼻岬地先および恵山岬地先水深 100 m の水温変化に類似した。同年 12 月上旬–2012 年 6 月上旬までの生息水深 0–149.5 m および 150 m 以深における月の旬別の平均経験水温については、それぞれ尻屋崎地先および大間崎地先水深 100 m および 200 m の水温変化に類似した。

青森県外で再捕された個体のうち(a)については、7 月上旬–中旬の生息水深 0–150 m における月の旬別の平均経験水温の推移が、尻屋崎地先水深 100 m の水温変化に類似していた。一方、8 月上旬以降の生息水深 0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温は大間崎地先および尻屋崎地先水深 100 m の水温変化よりも約 5°C 以上低く推移していた。(h)については、放流直後–8 月中旬の生息水深 150 m 以深における月の旬別の平均経験水温が大間崎地先水深 200 m の水温変化に類似していた。一方、8 月下旬–翌年 1 月下旬の生息水深 150 m 以深における月の旬別の平均経験水温が、大鼻岬地先水深 200 m の水温変化に比べて若干低く推移していた。

2-2-4 考察

津軽海峡東部沿岸におけるキアンコウの生態については、前項のとおりディスクタグによる標識放流調査を実施して移動や成長等について検証したが、その移動経路、生息水深及び経験水温については不明であった。今回のデータロガーによる調査によって、移動中の経験水温及び生息水深に関するデータが得られた。再捕率は 16.7%と、同条件で実施したディスクタグ標識放流の再捕率 5.5%の約 3 倍と高い結

果になった。この差の原因は、後者は原則、作業に協力する漁業者にディスクタグ標識を手交して漁労作業の合間に装着・放流を行うよう依頼したが、データロガーは調査員が状態のよい個体を確認して装着・放流を行ったことが再捕率の向上に繋がったのかもしれない。また、データロガー自体が大きく、且つ再捕報告の連絡先が本体に直接明記されていたことが一因かもしれない。

小坂(1966)は、仙台湾周辺では 11 月頃からキアンコウの群れが接岸し始め、2-6 月に水深 80 m 以浅に濃密な分布域を形成し、7 月以降は分布の中心は深みに移り、8-10 月には分布域は最も深くなると報告している。津軽海峡東部沿岸におけるキアンコウの産卵時期は、漁業者からの聴き取りや洋上における卵塊の視認から 4-6 月であると考えられており、この時期に浅場へ移動することが予測された。しかし、今回の調査で得られた 10 個体のデータはそれぞれ複雑に移動しており、明確な傾向を示さなかった。本調査における生息水深の頻度分布の月推移では、放流直後の 2010 年 6 月を除いて、(d)・(f)以外の 8 個体では 8-9 月に深場へ潜水して、10 月-翌年 1 月に浅場へ浮上、2 月から再び深場へ潜水して、4-7 月に再び浅場へ浮上する行動が認められた。第 3 章 1 項の標識放流の結果と同様に、これらの結果は産卵期に浅場へ移動する傾向と一致していた。2 月に深場へ移動する原因は不明であったが、最も水温が低くなる時期であることから、キアンコウの活動性の低下や、水温環境変化に伴う餌料生物の移動の可能性が考えられる。

一方で、(f)でも同様の深浅移動が認められたが、2010 年 5 月 31 日、同年 6 月 2 日、(h)の 2011 年 6 月 2-4 日、同年同月 27-29 日の例の様に、これらの浅場への段階的な移動の合間でも最大水深 405.7 m への急激な沈降が頻繁に確認された(図 2-2-2)。この行動が何を意味するものなのかを当該調査結果で言及することは

難しいが、特徴的な行動の一つであった。

一般に、200 m 以浅の大陸棚上では、海底も有光層に属することから好漁場になると考えられている。今回の調査で生息水深の頻度を解析したところ、(h)以外の 9 個体は、78.3–99.9%の時間を 199.5 m 以浅の大陸棚に生息していたことから、津軽海峡東部海域に生息するキアンコウは主に大陸棚上に分布するといえる。(h)は 2010 年 8 月 11 日–同年 12 月 4 日、また同年 12 月 27 日–2011 年 2 月 6 日の両期間、水深 200–259.5 m の海域に着底にしていたものと考えられた。一方、津軽海峡東部沖合は、水深 100–400 m の海底の傾斜が大きく、キアンコウ分布水深の頻度分布モードは生息水深が 100 m 前後であること示したことから、海底の急傾斜面の上辺部に生息すると推察された。佐藤(2009)はこの海域の 5–11 月が成層期にあたり、鉛直方向の水温差が 8–9 月には 10–13°C と大きくなることを報告している。従ってキアンコウは、この様な成層中の斜面上辺域に生息することで、生息に適した水温を短距離の移動で選択でき、水温選択に有利であると考えられた。また、キアンコウは主にカタクチイワシやサバ類などの魚類やスルメイカ *Todarodes pacificus* 等の頭足類などを捕食していると考えられており(小坂 1966)、青森県周辺海域では第 3 章食性と栄養状態で後述するとおり、日本海ではマアジ *Trachurus japonicus* やカレイ類等、津軽海峡ではキアンコウ(共食い)等、太平洋ではマダラ *Gadus macrocephalus* 等を中心に捕食している。これら餌料となる魚種も 200 m 以浅の海底を中心に分布していることから(松谷 2017)、キアンコウの分布深度には餌生物との関連も示唆された。通説ではアンコウ科のほとんどが深海魚である(田村・丹羽 1986)と考えられてきたが、少なくとも津軽海峡東部海域のキアンコウは主生息水深が 200 m 以浅であり、深海魚ではないと言える。

野呂・竹谷(2009)は、春季における産卵期の漁獲状況と水温の関係において、漁場の表面水温が 10.6–12.9°C の時に漁獲個体数が増加することを報告している。また、Yoneda et al.(2002)および米田(2006)は、東シナ海および黄海における分布域について底層 6–16°C の水温帯に集中し、16°C を超える海域には分布しないことを報告している。さらに、九州西方域では秋から初冬、水温の低下とともに黄海などから大陸沿岸を南下する群れが現れ、翌年の春には済州島の西方に達し、その後、水温の上昇とともに北方へ戻るといふ回遊を行うと考えられている(阿保・本間 1997)。本研究の調査では、上半期(1–6 月)と下半期(7–12 月)に分けて解析すると、上半期は 4–10°C、下半期は 8–14°C の水温帯に集中していることがわかった。これは、津軽海峡大間崎地先の水温推移に類似していた。今回の調査で再捕された個体のほとんどは同海域で浮上・沈降して、異なる水深帯の着底場所に移動していたと考えられた。深夜において頻繁に確認された急激な水深変化がその一例で(図 2-2-10)、スパイク状の水深変化のほとんどは夜間に発生していた(図 2-2-2)。水族館における水槽飼育では、深夜に海面近くまで浮上して排泄する行動が頻繁に認められていることから((公財)ふくしま海洋科学館・山内信弥, 松崎浩二, アクアワールド茨城県大洗水族館魚類展示課・芝洋二郎, 柴垣和弘私信), これらのスパイクは排泄に伴う表層への移動である可能性が高い。また、第 3 章食性と栄養状態で後述するとおり、カタチイワシやマイワシ、マアジ等の浮魚類を捕食していた事例もあったことから、これらのスパイクの一部は摂餌行動である可能性もある。今回の調査では長期的な生態と移動を観察するために生息水深と経験水温の記録を 1 時間ごとに設定したが、より細かいスパイク、即ち 1 時間に満たない浮上・沈降が存在する可能性があり、より詳細な調査が必要である。

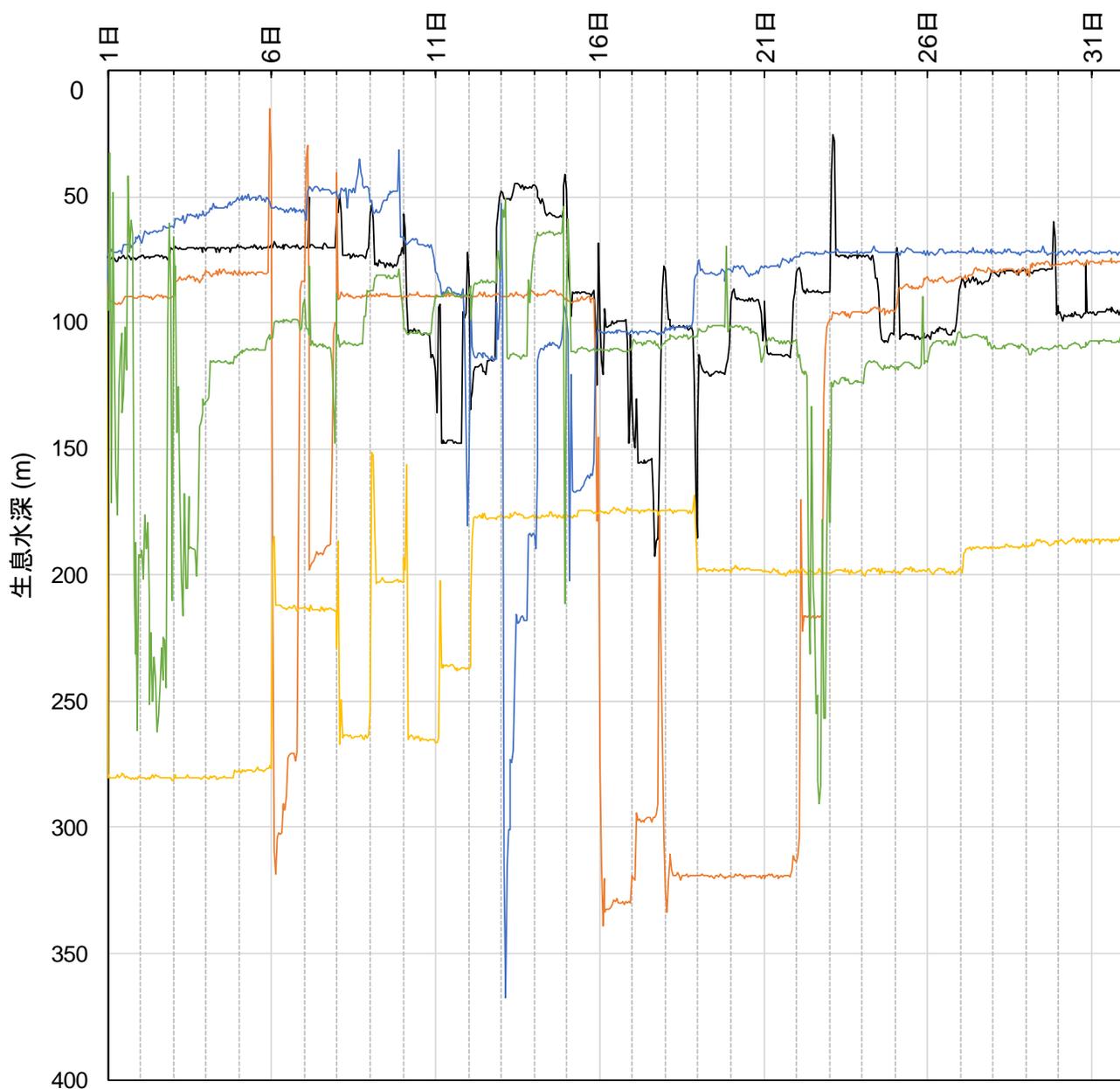


図2-2-10 2010年7月におけるデータロガー装着キアンコウ *Lophius litulon* の生息水深. 深夜において頻繁に確認された急激なスパイクの事例. 黒線は再捕個体(f), 橙線は再捕個体(g), 黄線は再捕個体(h), 青線は再捕個体(i), 緑線は再捕個体(j), 灰色横軸目盛線は深夜0時をそれぞれ示す.

一方、(a)の2010年8月15日–同年9月7日や(h)2011年6月27日–再捕日において、深夜をピークとするスパイク状の水深変化が毎日発生していたが、これらが発生していた原因は不明であり、より詳細な調査が必要である。

着底期間中の水温は頻繁に上下しており(図 2-2-2)、これは潮汐と同期しており、強い関係性が認められた。特に、夏–秋季においてこの傾向が強く認められた。これに加え長時間に渡って着底するという通説を踏まえれば、個体自身による大規模な水平移動により環境水温が急激に変化したと考えるよりは、特に夏–秋季において潮汐による水温変化が発生する環境に着底していたことが原因と考えられる。これまで、本海域でこの様な潮汐と同期した大きな水温変化と、そういった環境中に生息する生物への影響に関する報告はなく、今後の調査が必要である。

最後に、本研究では各個体における月の旬別の平均水温および平均水深と各地先の水温とを比較して移動経路を推察した(図 2-2-8, 9)。青森県内で再捕された個体のうち、(b)–(e)および(g)の生息水深 0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温については、大間崎地先水深 100 m の水温変化に類似していたことから、放流海域周辺から大きく移動していなかったものと推察された。そのうち(c)は、2010年6月下旬から同年7月中旬にかけて、生息水深 0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が、尻屋崎地先水深 100 m の水温変化に類似していたことから同周辺海域に向けて東方へ移動し、再び放流海域周辺に移動したものと考えられた。(f)については、放流直後–2010年10月下旬の生息水深 0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が、大間崎地先水深 100 m の水温変化に類似していたことから、放流海域周辺から大きく移動していなかったものと推察された。一方、2010年11月上旬から生息水深 0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温が大間崎地先水深

100 m の水温推移と比較して著しく低下し、大鼻岬地先および恵山岬水深 100 m の水温推移に類似していたことから、放流海域から親潮の影響下にある津軽海峡東部北海道沿岸へ北上したと考えられた。また、2011 年 2 月上旬以降は各地先の水温差が不明確であるため移動の推察が困難であったが、この期間中に青森県側へ南下し、最終的に青森県風間浦村で再捕されたものと推察された。(i)については、放流直後-同年 8 月上旬の生息水深 0-149.5 m における月の旬別の平均経験水温が、大間崎地先水深 100 m の水温変化に類似していたことから、放流海域周辺から大きく移動していなかったものと推察された。同年 8 月中旬-2011 年 2 月下旬の生息水深 0-149.5 m における月の旬別の平均経験水温が、大間崎地先および大鼻岬地先水深 200 m の水温変化に類似しており、且つ 2011 年 4 月下旬-同年 6 月中旬の生息水深 0-150 m における月の旬別の平均経験水温が、大間崎地先および尻屋崎地先水深 100 m の水温変化に類似していたことから、この時期は津軽海峡東部海域に生息していたと考えられた。一方、2011 年 7 月上旬以降の生息水深 0-149.5 m における月の旬別の平均経験水温は、大間崎地先および尻屋崎地先水深 100 m の水温変化よりは低く、大鼻岬地先および恵山岬地先水深 100 m の水温変化よりは高く推移していたことから、この時期に尻屋崎沖合を通過して太平洋に渡り、最終的に青森県東通村白糠で再捕されたものと推察された。(j)については、放流直後-2011 年 6 月上旬の生息水深 0-149.5 m および 150 m 以深における月の旬別の平均経験水温が、それぞれ大間崎地先水深 100 m および 200 m の水温変化に類似していたことから、放流海域周辺から大きく移動していなかったものと推察された。2011 年 7 月上旬-同年 11 月下旬の生息水深 0-150 m における月の旬別の平均経験水温は、大鼻岬地先および恵山岬地先水深 100 m の水温変化に類似していた

ことから、放流海域から親潮の影響下にある津軽海峡東部北海道沿岸へ北上したと考えられた。一方、同年 12 月上旬–2012 年 6 月上旬までの生息水深 0–149.5 m および 150 m 以深における月の旬別の平均経験水温については、それぞれ尻屋崎地先および大間崎地先水深 100 m および 200 m の水温変化に類似していたことから、この期間中に青森県側へ南下し、最終的に青森県風間浦村で再捕されたものと推察された。

青森県外で再捕された個体のうち(a)については、2010 年 7 月上旬–中旬の生息水深 0–149.5 m における月の旬別の平均経験水温の推移が、尻屋崎地先水深 100 m の水温変化に類似していたことから、放流直後から同年 7 月上旬にかけて津軽海峡青森県沿岸域を太平洋方向へ移動していたものと考えられた。一方、同年 8 月上旬以降の生息水深 0–150 m における月の旬別の平均経験水温は大間崎地先および尻屋崎地先水深 100 m の水温変化よりも約 5°C 以上低く推移していることから、同旬から親潮の影響下にある恵山岬以北に移動し、最終的に北海道室蘭市沖で再捕されたと考えられた。(h)については、放流直後–同年 8 月中旬の生息水深 149.5 m 以深における月の旬別の平均経験水温が大間崎地先水深 200 m の水温変化に類似していたことから、放流海域周辺から大きく移動していなかったものと推察された。一方、同年 8 月下旬–2011 年 1 月下旬の生息水深 149.5 m 以深における月の旬別の平均経験水温が、大鼻岬地先水深 200 m の水温変化に比べて若干低く推移していたことから、津軽海峡北海道沿岸に移動したものと推察された。また、(f)と同様に、2011 年 2 月上旬以降は各地先の水温差が不明確であるため移動の推察が困難であったが、この期間中に太平洋側へ移動し、最終的に北海道函館市で再捕されたものと推察された。

これらの推察結果を要約すると以下の通りとなる。即ち、(b)–(e)および(g)は放流海域周辺から大きく移動していなかったことが推察された。一方、(a)は 2010 年 7 月上旬に津軽海峡青森県沿岸を尻屋崎に向けて東方向へ移動した後、同年 8 月上旬、太平洋北海道恵山岬沿岸から、さらに室蘭市がある北方向へ移動した。また、(f)は 2010 年 11 月上旬に津軽海峡北海道沿岸へ、(h)は 2010 年 8 月下旬に同じく津軽海峡北海道沿岸へ、(i)は 2011 年 7 月上旬に太平洋青森県沿岸へ、そして(j)は 2011 年 7 月上旬に津軽海峡北海道沿岸へ移動したと推察され、即ちこれらいずれの個体も本種の閑漁期となる 7–11 月の期間に放流海域外へ移動したようである。これらの結果は、風間浦村から放流された標識魚が数ヶ月後に津軽海峡東部–青森県太平洋沿岸域に再捕された結果と一致していた(野呂・竹谷 2009)。今回の調査で放流が行われた青森県風間浦村では、資源保護の一環として 2 kg 未満の小型漁獲個体の再放流が実施されているが、今回の調査からこのような小型の放流魚のほとんどは分散することなく放流域に滞留していたと考えられた。

以上をまとめると、再捕に成功した個体の多くは津軽海峡の東側、および太平洋青森側および北海道南部で再捕されたことから、前章で示した日本海での再捕個体が少ない傾向が再現されており、その移動には深夜にスパイク状で認められる浮上中の津軽暖流の東向きの流れが影響を及ぼしていることが考えられる。

さらに本研究では、キアンコウが選択する傾向にある水温帯等が明らかになった。これらは、陸上水槽による親魚養成、種苗生産における飼育水の水温管理などにも有効に活用し得るものである。

第3章 食性と栄養状態

3-1 目的

アンコウ類は、多量の底魚を摂食し、底生水族群集中で高い栄養段階を占め、群集の構造・機能に対して大きな影響を与える魚類の1つであり、青森県周辺海域におけるキアンコウ *Lophius litulon* も同様であると考えられる(小坂 1966)。

アンコウ類の摂餌は、至近を通過するか、頭部の誘因突起に誘因されて近寄って来る生物を待ち伏せして捕食すると考えられている(Park *et al.* 2014)。本種も同様に、他魚種よりも大きな口で、頭部の誘因突起(背鰭第一棘)を用いて誘因された魚種を捕食すると考えられている(小坂 1966)。

本種の食性と栄養状態に関する既往知見について、次のとおり整理する(付表 3-1)。仙台湾では、1960-1963年の調査の空胃率の季節変化等から、11-12月から1月までは摂食活動増大期、2月から5-6月までは活動活発期、7-9月は活動減少期、7-10月から10-11月まで不活発期の4期に分けることができ、平均胃内容物重量指数(stomach content index: 以下SCIと表記、胃内容物重量×100 / キアンコウの内臓除去体重(%))は活動活発期で12.2%と最高で、不活発期には1.6%まで減少することが報告されている(小坂 1966)。また、この海域における産卵期は5-7月と考えられている。小坂(1966)は、仙台湾の主な餌生物は魚類36種類と頭足類であり、特に摂食活動活発期にイカナゴ *Ammodytes* sp.を、その他の時期にはカタクチイワシ *Engraulis japonicus* やマアナゴ *Conger myriaster*、マサバ *Scomber japonicus*、マガレイ *Pseudopleuronectes herzensteini*等を捕食し、最大SCIは、15 cm SLで52%、35 cm SLで30%、45 mm SLで25%と大型魚ほど減少するこ

とを報告している。これらの季節変化は、主たる捕食対象であるイカナゴ成魚の季節的な生態変化による、即ちイカナゴの夏眠期にはキアンコウの摂食行動が不活発になり、それ以外の時期には活発になるものと考察されている(小坂 1966)。岩崎ら(2010)は、福島県海域におけるキアンコウは 10 cm SL 未満でサラサガジ *Davidijordania poecilimon* やエゾイソアイナメ *Physiculus maximowiczi* の小型魚や甲殻類を捕食し、20 cm SL からカタクチイワシやイカナゴを捕食し始め、成長に伴いタラ類やカレイ類等の大型魚の摂食頻度が高くなることを報告している。また、常磐海域ではカタクチイワシの餌料価値が特に高く、11-4 月が摂食活動活発期、5-10 月が不活発期と考察している。中原(1969)は、日本海南西海域におけるキアンコウの胃内容物の 84.7%を魚類が占め、特にニギス *Glossanodon semifasciatus*, カタクチイワシ, カレイ類, アカムツ *Doederleinia berycoides*, 円口類が多かったことを報告している。河野(2011)は、同海域における胃内容物として、魚類が最も多く出現し、その他にエビジャコ類の 1 種 *Crangon* sp.等の甲殻類やイソギンチャク類が確認されている。魚類は 26 種が出現し、カレイ・ヒラメ類, カタクチイワシ, アカムツ, ワニギス *Champsodon snyderi*, キダイ *Dentex hyplosomus* が比較的多く出現していた。山田ら(2007)の報告では、黄海においても魚類の出現率が 80%強, 重量百分率 90%と高く、クサウオ *Liparis tanakai*, カタクチイワシ, マアナゴ, シログチ *Pennahia argentata*, コモチジャコ等が多かった。また韓国沿岸でも、底魚類が胃内容物を優占し、甲殻類が続くと報告されている(Choi *et al.* 2011; Park *et al.* 2014)。一方、青森県周辺海域におけるキアンコウの食性や栄養状態は未詳である。

本研究では、青森県周辺海域におけるキアンコウの生活年周期を検討するために、本種の食性と栄養状態を調査した。また、高次捕食者と考えられる本種の食性解析

を通じて、生息海域における主要餌生物の資源状態を検討した。さらに、津軽海峡の個体群について他海域と食物組成を比較した。

3-2 材料と方法

キアッコウは、2006年4月から2016年7月までの期間、青森県周辺海域の日本海、津軽海峡、太平洋、陸奥湾において、刺網漁業および空縄釣り漁業、沖合底曳き網漁業、底建網漁業、水産研究・教育機構東北区水産研究所漁業調査船・若鷹丸(692トン)および地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所調査船・青鵬丸(65トン)、北海道大学水産学部附属練習船・うしお丸(179トン)による着底トロールによって得られた1,088個体を用いた(図3-1,表3-1(1))。標本は生鮮で持ち帰るか、若しくは凍結して研究室に持ち帰って解凍した後、全長(Total length 以下 TL と表記; 1 mm 単位)および体重(Body weight 以下 Bw と表記; 1 g 単位)、消化器官と生殖腺を除去した内臓除去重量(Eviscerated body weight 以下 EBw と表記; 1 g 単位)を測定した。そのうち731個体について、肝臓重量(Liver weight 以下 Lw と表記; 1 g 単位)を測定した。

空胃率および肥満度(Condition Factor; CF)、肝臓重量指数(Hepato Somatic Index; HSI)は次式により算出し、季節変化は、1-3月を冬季、4-6月を春季、7-9月を秋季、10-12月に区分して海域別に平均値を算出した。

$$CF=Bw \times 10^6 / TL^3$$

$$HSI=100 \times Lw / EBw.$$

上記の試料魚のうち473個体に同様の方法で採集した94個体を加えた合計567個体について、胃内容物を海域別に、4つの全長階級(≤ 200 mm, 201-400 mm,

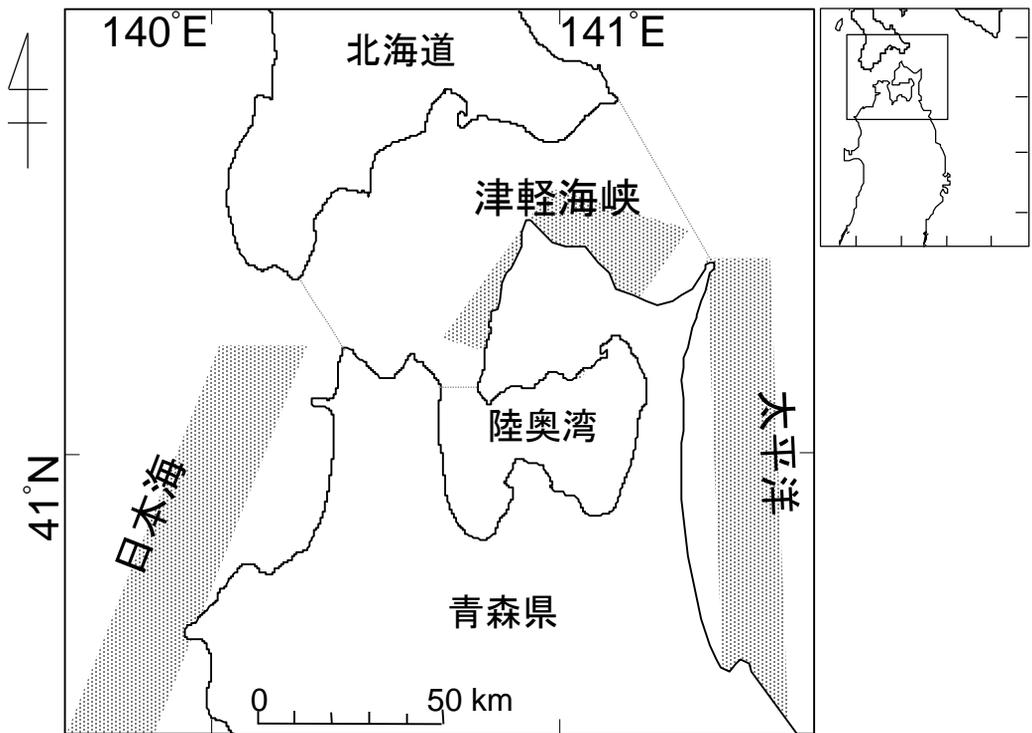


図3-1 キアンコウ *Lophius litulon* 試料魚の採集海域図. 陰色で示す.

表3-1(1). 栄養状態の解析に用いた海域別キアンコウ *Lophius litulon* 試料魚数

季節	全長 階級 (mm)	試料魚数							
		日本海		津軽海峡		太平洋		合計	
		CF	HSI	CF	HSI	CF	HSI	CF	HSI
冬季		27	25	150	61	117	117	294	203
	161-200	3	3					3	3
	200-400	13	11	1		85	85	99	96
	400-600	11	11	36	15	28	28	75	54
	600-1,182			113	46	4	4	117	50
春季		102	95	412	174	51	48	565	317
	13-200	1	1					1	1
	200-400	42	35	2	1	2	2	46	38
	400-600	52	52	50	36	23	20	125	108
	600-1,230	7	7	360	137	26	26	393	170
夏季		28	27	21	17	0	0	49	44
	6-200	3	3	1				4	3
	200-400	12	11	7	7			19	18
	400-600	12	12	3	3			15	15
	600-872	1	1	10	7			11	8
秋季		18	16	50	43	112	108	180	167
	110-200					29	26	29	26
	200-400	13	12	3	2	75	74	91	88
	400-600	5	4	4	2	8	8	17	14
	600-830			43	39			43	39
合計		175	163	633	295	280	273	1,088	731
	6-200	7	7	1		29	26	37	33
	200-400	80	69	13	10	162	161	255	240
	400-600	80	79	93	56	59	56	232	191
	600-1,230	8	8	526	229	30	30	564	267

401–600 mm, >601 mm) に区分して、可能な限り下位の分類群まで同定、計数し、重量 (Stomach contents weight 以下 Sw と表記; 0.01 g) を測定した (表 3-1(2))。石・ゴミ等の非生物や、消化が進み種の同定が困難なものは除外した。また、底曳網により採集された試料魚のうち、消化が全く認められず網内で捕食したと考えられたものは除外した。胃内容物は、魚類・頭足類・甲殻類・その他の 4 種類に大別して集計して、出現頻度 (% F_i ; 餌生物 i を捕食していたキアンコウの個体数割合), 個体数百分率 (% N_i ; 餌生物 i の個体数割合), 重量百分率 (% W_i ; 餌生物 i の重量割合) で表した。続いて Pinkas *et al.* (1971) に基づき、餌 i 種に対する重要度指数 (IRI_i) とその割合である相対重要度指数 (% IRI_i) を次式で算出し、主要餌生物を判定した。

$$IRI_i = (\%N_i + \%V_i) \times \%F_i$$

$$\%IRI_i = IRI_i \times 100 / \sum IRI_i$$

3-3 結果

胃内容物 胃内容物調査結果を、表 3-2, 図 3-2 に示す。日本海では、頭足類 21 個体, 甲殻類 5 個体, 魚類 187 個体, その他 4 個体が出現し, % IRI は魚類が 98.8% と突出して高い値を示した。津軽海峡では、頭足類 5 個体, 甲殻類 4 個体, 魚類 62 個体, その他 2 個体が出現し, % IRI は魚類が 99.4% と突出して高い値を示した。太平洋では、頭足類 16 個体, 甲殻類 1 個体, 魚類 104 個体, その他 2 個体が出現し, % IRI は魚類が 98.0% と突出して高い値を示した。出現した甲殻類は、各海域とも全てエビ類であり、殻のみが出現した。 IRI の合計値はそれぞれ、日本海 36,402, 津軽海峡 23,353, 太平洋 34,790 であった。

日本海の結果を、表 3-3 に示す。≤200 mm TL では餌生物として魚類 4 個体が

表3-1(2). 食性の解析に用いた海域別キアンコウ *Lophius litulon* 試料魚数

季節	全長階級 (mm)	試料魚数								
		日本海			津軽海峡			太平洋		
		試料魚数	空胃 個体数	空胃 率(%)	試料魚数	空胃 個体数	空胃 率(%)	試料魚数	空胃 個体数	空胃 率(%)
冬季		27	15	55.6	81	63	77.8	9	8	88.9
	161-200	3	2	66.7						
	200-400	13	7	53.8						
	400-600	11	6	54.5	22	18	81.8	5	4	80.0
	600-1,182				59	45 ^{*1}	76.3	4	4	100.0
春季		105	49	46.7	107	83	77.6	33	11	33.3
	13-200	1	0							
	200-400	45	23 ^{*1}	51.1	1	0		9	6	66.7
	400-600	52	23	44.2	29	17 ^{*3}	58.6	10	2	20.0
	600-1,230	7	3	42.9	77	66 ^{*2}	85.7	14	3	21.4
夏季		33	16	48.5	18	11	61.1			
	6-200									
	200-400	17	11	64.7	8	7 ^{*1}	87.5			
	400-600	15	5	33.3	8	3	37.5			
	600-872	1	0		2	1 ^{*1}	50.0			
秋季		26	12	46.2	30	20	66.7	98	37	37.8
	110-200	1	1	100.0				29	17	58.6
	200-400	18	8	44.4	3	3 ^{*1}	100.0	33	12	36.4
	400-600	6	2	33.3	4	3	75.0	15	5	33.3
	600-830	1	1	100.0	23	14	60.9	21	3	14.3
合計		191	92	48.2	236	177	75.0	140	56	40.0
	6-200	5	3	60.0	0	0		29	17	58.6
	200-400	93	49	52.7	12	10	83.3	42	18	42.9
	400-600	84	36	42.9	63	41	65.1	30	11	36.7
	600-1,230	9	4	44.4	161	126	78.3	39	10	25.6

*1: うち1個体の胃内容物は消化が進んだ魚類で種を判別できなかった為、空胃と見なした。

*2: うち3個体の胃内容物は消化が進んだ魚類で種を判別できなかった為、空胃と見なした。

*3: うち1個体の胃内容物は石であった為、空胃と見なした。

表3-2. 海域別キアンコウ *Lophius litulon* 胃内容物の概要

胃内容物	日本海 (n=92)							津軽海峡 (n=48)							太平洋 (n=53)						
	N	W(g)	%F	%N	%W	IRI	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	IRI	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	IRI	%IRI
頭足類	21	743	22.8	9.7	8.8	421	1.2	5	142	10.4	6.8	1.6	88	0.4	16	708	30.2	13.0	10.0	696	2.0
甲殻類	5	7	5.4	2.3	0.1	13	0.0	4	5	8.3	5.5	0.1	46	0.2	1	4	1.9	0.8	0.1	2	0.0
魚類	187	7,675	203.3	86.2	90.7	35,958	98.8	62	8,437	127.1	84.9	97.7	23,204	99.4	104	6,281	196.2	84.6	89.1	34,083	98.0
その他	4	34	4.3	1.8	0.4	10	0.0	2	55	4.2	2.7	0.6	14	0.1	2	53	3.8	1.6	0.8	9	0.0
合計	217	8,459				36,402		73	8,639				23,353		123	7,047				34,790	

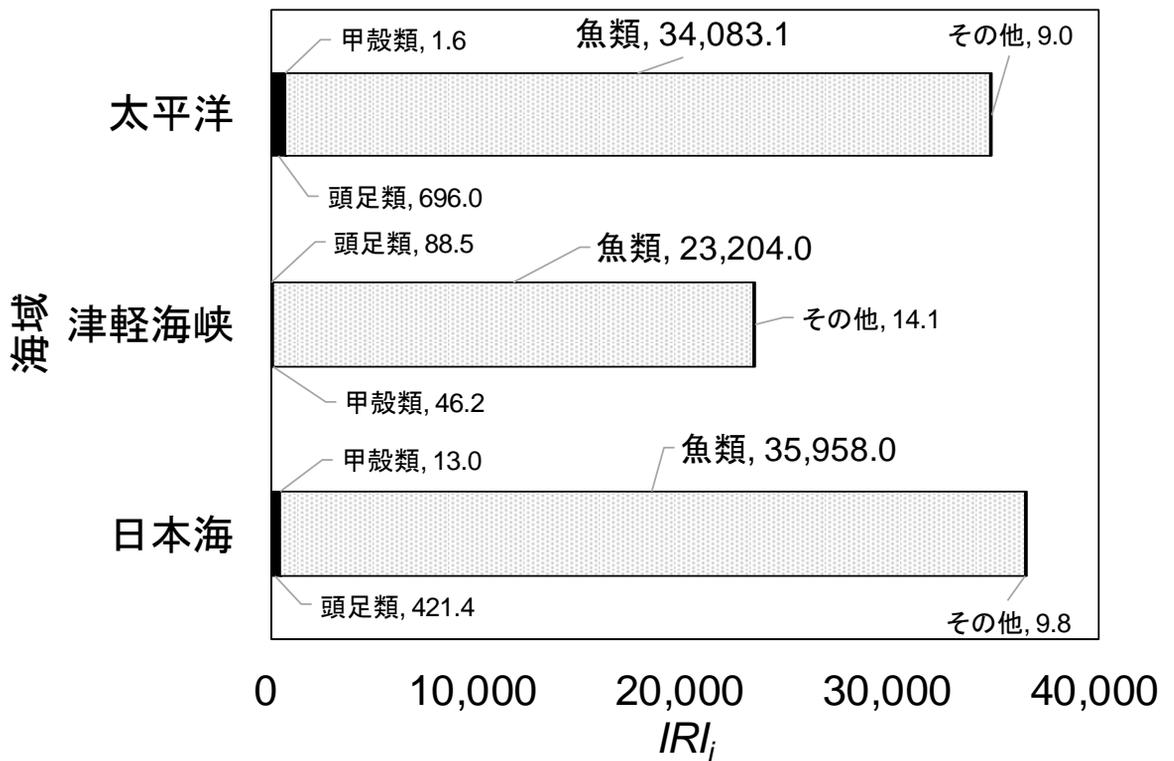


図3-2 キアンコウ *Lophius litulon* の海域別 IRI_j

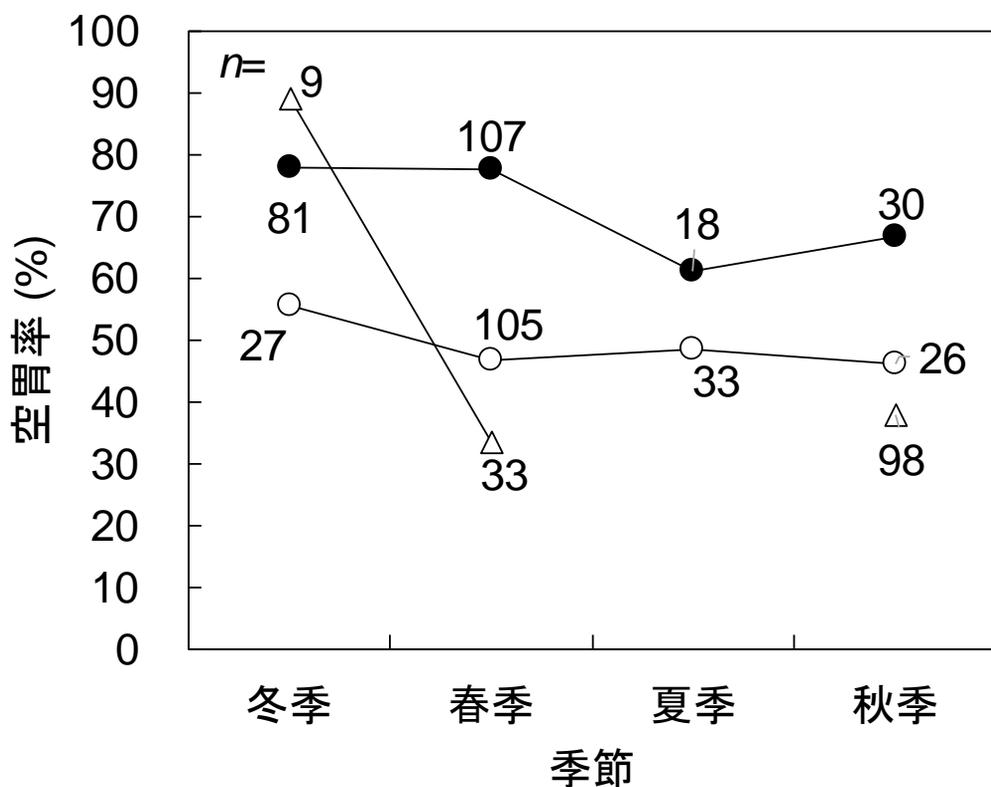


図3-3 キアンコウ *Lophius litulon* の空胃率の海域別季節変化. ○印は日本海, ●印は津軽海峡, △印は太平洋をそれぞれ示す.

表3-3. 日本海におけるキアンコウ *Lophius litulon* 胃内容物の詳細

	0-200 mm TL (n=2)						201-400 mm TL (n=59)						401-600 mm TL (n=46)						>600 mm TL (n=5)					
	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI
頭足類	スルメイカ	<i>Todarodes pacificus</i>					1	72	2.6	1.6	4.3	0.5	2	36	4.3	1.5	0.8	0.2	3	225	60	17.6	10.8	14.0
	ヤリイカ	<i>Heterololigo bleekeri</i>					1	31	2.6	1.6	1.8	0.3	8	241	17.4	6.0	5.1	3.7	5	88	100	29.4	4.2	27.6
	アオリイカ	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>											1	51	2.2	0.8	1.1	0.1						
甲殻類	甲殻類	CRUSTACEANA					3	2	7.7	4.8	0.1	1.3	2	5	4.3	1.5	0.1	0.1						
魚類	ツノザメ目	アブラツノザメ																	2	1,100	40	11.8	52.6	21.1
	メジロザメ目	トラザメ											1	17	2.2	0.8	0.4	0.0						
	ニシン目	マイワシ					2	73	5.1	3.2	4.4	1.3	2	58	4.3	1.5	1.2	0.2						
		カタクチイワシ											1	14	2.2	0.8	0.3	0.0						
	ニギス目	ニギス					11	151	28.2	17.5	9.0	24.9	9	82	19.6	6.8	1.8	3.2						
	タラ目	マダラ											4	234	8.7	3.0	5.0	1.3						
	アンコウ目	キアンコウ											1	304	2.2	0.8	6.5	0.3						
	アシロ目	シオイタチウオ											1	13	2.2	0.8	0.3	0.0						
	カサゴ目	キンカジカ	1	3	50	25	18.1	8.4					6	47	13.0	4.5	1.0	1.4						
		ニジカジカ											1	59	2.6	1.6	3.5	0.4						
		サブロウ											6	183	13.0	4.5	3.9	2.1						
		クサウオ											2	54	4.3	1.5	1.2	0.1						
		ホウボウ											1	100	2.2	0.8	2.1	0.1						
		カナガシラ											4	138	8.7	3.0	3.0	1.0						
	スズキ目	マアジ											7	248	17.9	11.1	14.8	15.5						
		アラ											1	77	2.2	0.8	1.7	0.1						
		アカムツ											3	65	6.5	2.3	1.4	0.5						
		マダイ											1	61	2.6	1.6	3.6	0.4						
		サラサガジ											2	9	5.1	3.2	0.6	0.6						
		ウナギガジ	3	13	50	75	81.9	91.6					4	28	10.3	6.3	1.7	2.7						
		ハタハタ											7	46	17.9	11.1	2.8	8.3						
		ミシマオコゼ											25	39	54.3	18.8	0.8	20.3						
	カレイ目	マガレイ											1	35	2.6	1.6	2.1	0.3						
		ソウハチ											1	12	2.6	1.6	0.7	0.2						
		ヒレグロ											4	280	10.3	6.3	16.7	7.9						
		ムシガレイ											2	142	5.1	3.2	8.5	2.0						
		ヤナギムシガレイ											9	649	19.6	6.8	13.9	7.7						
													10	365	25.6	15.9	21.8	32.1						
その他	ヒトデ類	<i>Asteroidea</i> sp.											1	9	2.2	0.8	0.2	0.0						
	ホヤ類	<i>Ascidacea</i> sp.											1	15	2.2	0.8	0.3	0.0						

出現し、%IRI はウナギガジ *Lumpenus sagitta* が 91.6%，キンカジカ *Cottiusculus schmidti* が 8.4%を示した。201–400 mm TL では 63 個体の餌生物が出現し、%IRI はヤナギムシガレイ *Tanakius kitaharai* が 32.1%，ニギス 24.9%，マアジが 15.5%と相対的に高い割合を占めた。401–600 mm TL では 133 個体の餌生物が出現し、%IRI はマアジが 50.8%が突出し、ハタハタ *Arctoscopus japonicus* も 20.3%と比較的高い割合を示した。>600 mm TL では 17 個体が出現し、%IRI はムシガレイ *Eopsetta grigorjewi* が 29.5%，ヤリイカ *Heterololigo bleekeri* が 27.6%，アブラツノザメ *Squalus acanthias* が 21.1%，スルメイカが 14.0%がそれぞれ比較的高い割合を占めた。また、全長階級が大きくなるに従って頭足類の %IRI が高い割合を示した (≤200 mm TL: 0%，201–400 mm TL: 0.8%，401–600 mm TL: 4.0%，>600 mm TL: 31.6%)。

津軽海峡の結果を、表 3–4 に示す。201–400 mm TL では餌生物が合計 4 個体出現し、%IRI は甲殻類 72.6%，サラサガジ 27.4%であった。甲殻類は、エビ類 2 個体と同定不能甲殻類(外骨格のみ) 1 個体であった。401–600 mm TL では 33 個体出現し、%IRI はエゾイソアイナメが 56.6%を示して突出し、ババガレイ *Microstomus achne* も 16.0%と相対的に高い割合を示した。>600 mm TL では 36 個体出現し、%IRI はキアンコウ(共食い)が 58.4%が最も高く、次いでマダラが 11.3%，ババガレイが 9.4%を示し、相対的に高かった。

太平洋の結果を、表 3–5 に示す。≤200 mm TL では餌生物として魚類のみ合計 17 個体出現し、%IRI はキンカジカが 55.0%を示して優占し、次いでミギガレイ *Dexistes rikuzenius* が 36.8%と高い割合を占めた。201–400 mm TL の餌生物は、ホタテガイ *Patinopecten yessoensis* の 1 個体以外の全 44 個体が魚類であ

表3-4. 津軽海峡におけるキアンコウ *Lophius litulon* 胃内容物の詳細

			201-400 mm TL (n=2)					401-600 mm TL (n=17)					>600 mm TL (n=29)								
			N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	
頭足類	スルメイカ	<i>Todarodes pacificus</i>																			
甲殻類	甲殻類	CRUSTACEANA	3	5	100	75	18.8	72.6	1	0	5.9	3.0	0.0	0.4							
魚類	メジロザメ目	トラザメ							2	179	11.8	6.1	9.4	3.8							
	ニシン目	マイワシ	<i>Sardinops melanostictus</i>						3	309	17.6	9.1	16.2	9.4							
		カタクチイワシ	<i>Engraulis japonicus</i>												3	11	3.4	8.3	0.2	0.9	
	ニギス目	ニギス	<i>Glossanodon semifasciatus</i>						1	8	5.9	3.0	0.4	0.4							
	タラ目	マダラ	<i>Gadus macrocephalus</i>												3	1,748	10.3	8.3	26.1	11.3	
		スケトウダラ	<i>Gadus chalcogrammus</i>						1	45	5.9	3.0	2.4	0.7							
		エゾイソアイナメ	<i>Physiculus maximowiczi</i>						10	296	58.8	30.3	15.5	56.6	1	52	3.4	2.8	0.8	0.4	
	アンコウ目	キアンコウ	<i>Lophius litulon</i>						1	5	5.9	3.0	0.3	0.4	7	3,174	27.6	19.4	47.3	58.4	
	カサゴ目	アイカジカ	<i>Gymnocanthus intermedius</i>						1	13	5.9	3.0	0.7	0.5							
		クサウオ	<i>Liparis tanakai</i>						1	265	5.9	3.0	13.9	2.1							
		カナガシラ	<i>Lepidotrigla microptera</i>												1	72	3.4	2.8	1.1	0.4	
	スズキ目	マアジ	<i>Trachurus japonicus</i>						3	83	17.6	9.1	4.3	5.0	3	69	10.3	8.3	1.0	3.1	
		サラサガジ	<i>Davidjordania poecilimon</i>	1	22	50	25	81.2	27.4	1	5	5.9	3.0	0.2	0.4						
		イカナゴ	<i>Ammodytes personatus</i>						2	18	11.8	6.1	0.9	1.7	1	9	3.4	2.8	0.1	0.3	
	カレイ目	マガレイ	<i>Pleuronectes herzensteini</i>												1	7	3.4	2.8	0.1	0.3	
		ソウハチ	<i>Hippoglossoides pinetorum</i>												1	105	3.4	2.8	1.6	0.5	
		ババガレイ	<i>Microstomus achne</i>						4	388	23.5	12.1	20.3	16.0	4	697	13.8	11.1	10.4	9.4	
		ムシガレイ	<i>Eopsetta grigorjewi</i>						1	207	5.9	3.0	10.8	1.7	3	478	10.3	8.3	7.1	5.1	
ヤナギムシガレイ		<i>Tanakius kitaharai</i>						1	90	5.9	3.0	4.7	1.0	1	90	3.4	2.8	1.3	0.4		
その他	ミズクラゲ科	<i>Aurelia</i> sp.												1	3	3.4	2.8	0.0	0.3		
	キタムラサキウニ	<i>Strongylocentrotus nudus</i>												1	52	3.4	2.8	0.8	0.4		

1個体の標本から得られた胃内容物について、消化が進んだ不明魚類を空胃として取り扱った

表3-5. 太平洋におけるキアンコウ *Lophius litulon* 胃内容物の詳細

			0-200 mm TL (n=12)						201-400 mm TL (n=20)						401-600 mm TL (n=10)						>600 mm TL (n=11)					
	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI	N	W(g)	%F	%N	%W	%IRI		
頭足類	スルメイカ	<i>Todarodes pacificus</i>											5	140	50	15.2	5.9	4.1	10	562	90.9	35.7	15.1	49.3		
	アオリイカ	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>											1	6	10	3.0	0.3	0.1								
甲殻類	甲殻類	CRUSTACEANA											1	4	10	3.0	0.2	0.1								
魚類	ツノザメ目	アブラツノザメ	<i>Squalus acanthias</i>										1	84	10	3.0	3.6	0.3	1	180	9.1	3.6	4.8	0.8		
	メジロザメ目	トラザメ	<i>Scyliorhinus torazame</i>																6	1,430	54.5	21.4	38.4	34.8		
	ニシン目	マイワシ	<i>Sardinops melanostictus</i>										1	18	10	3.0	0.8	0.1								
	ニギス目	ニギス	<i>Glossanodon semifasciatus</i>					9	168	45.0	20.0	20.4	13.6													
	タラ目	コマイ	<i>Eleginus gracilis</i>																1	44	9.1	3.6	1.2	0.5		
		マダラ	<i>Gadus macrocephalus</i>	2	20	16.7	11.8	14.7	5.7	11	123	55.0	24.4	14.9	16.1	20	1,396	100	60.6	59.1	93.6					
		スケトウダラ	<i>Gadus chalcogrammus</i>											1	200	10	3.0	8.5	0.4	3	570	27.3	10.7	15.3	7.6	
		エゾイソアイナメ	<i>Physiculus maximowiczi</i>							2	56	10.0	4.4	6.8	0.8											
カサゴ目	キンカジカ	<i>Cottiusculus schmidti</i>	8	23	66.7	47.1	17.2	55.0	2	11	10.0	4.4	1.4	0.4												
	カナガシラ	<i>Lepidotrigla microptera</i>																	2	90	18.2	7.1	2.4	1.9		
スズキ目	ウスメバル	<i>Sebastes thompsoni</i>												1	66	10	3.0	2.8	0.2							
	サラサガジ	<i>Davidjordania poecilimon</i>	1	1	8.3	5.9	0.5	0.7																		
	ウナギガジ	<i>Lumpenus sagitta</i>	1	1	8.3	5.9	0.5	0.7																		
	マサバ	<i>Scomber japonicus</i>												1	398	10	3.0	16.9	0.8	1	546	9.1	3.6	14.6	1.8	
カレイ目	ソウハチ	<i>Cleisthenes pinetorum</i>							1	12	5.0	2.2	1.5	0.1												
	ムシガレイ	<i>Eopsetta grigorjewi</i>																	2	184	18.2	7.1	4.9	2.3		
	ヤナギムシガレイ	<i>Tanakius kitaharai</i>	1	6	8.3	5.9	4.6	1.1																		
	ミギガレイ	<i>Dexistes rikuzenius</i>	4	84	33.3	23.5	62.4	36.8	19	452	90.0	42.2	54.9	68.8	1	50	10	3.0	2.1	0.2	1	70	9.1	3.6	1.9	0.5
その他	ホタテガイ	<i>Patinopecten yessoensis</i>							1	1	5.0	2.2	0.2	0.1												
	バフンウニ	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>																	1	52	9.1	3.6	1.4	0.5		

り、%IRIはミギガレイが68.8%を示して優占し、マダラが16.1%、ニギスが13.6%で比較的高い割合を占めた。401–600 mm TLでは33個体が出現し、%IRIはマダラが93.6%を示して優占した。>600 mmでは28個体の餌生物が出現し、%IRIはスルメイカが49.3%、トラザメ *Scyliorhinus torazame* が34.8%を示し、それぞれ高い割合を占めた。頭足類は400 mm TL以下のキアンコウは捕食していなかったが、401–600 mm TLの%IRIは4.2%を占めたのに対して、>600 mm TLで49.3%と高かった。また、3つの海域を通じて、サメ類は401–600 mm TLよりも大きな全長階級でのみ出現した。

空胃率・肥満度・肝臓重量指数の季節変化 空胃個体は日本海92個体(48.2%)、津軽海峡177個体(75.0%)、太平洋は56個体(40.0%)であった。空胃率は、日本海では周年を通じて46.2–55.6%の範囲を示し、有意な季節変化は認められなかった(χ^2 検定; $p=0.79$, 図3-3)。津軽海峡では、冬–春季に77.8–77.6%と高く、夏季に61.1%、秋季に66.7%とやや低下していた。太平洋では、冬季が89%と高く、春季33.3%と秋季37.8%は低かった。

HSIは、日本海では春季の3.2%をピークに、夏季2.8%、秋季2.0%、冬季1.9%と減少し、有意な季節変化が認められた(一元配置の分散分析, $p<0.001$, 図3-4)。津軽海峡では空胃率が高いにもかかわらずHSIは他海域に比べて高く、春季7.7%から夏季5.0%に減少、秋季に8.6%とピークを迎えて、冬季7.7%と高位で推移し、有意な季節変化が認められた($p<0.01$)。太平洋では、春季の7.5%をピークに、秋季2.4%減少、冬季4.4%と推移し、有意な季節変化が認められた($p<0.001$)。このようにHSIは3つの海域を通じて春季に高く、加えて津軽海峡では秋季と冬季にも高かった。

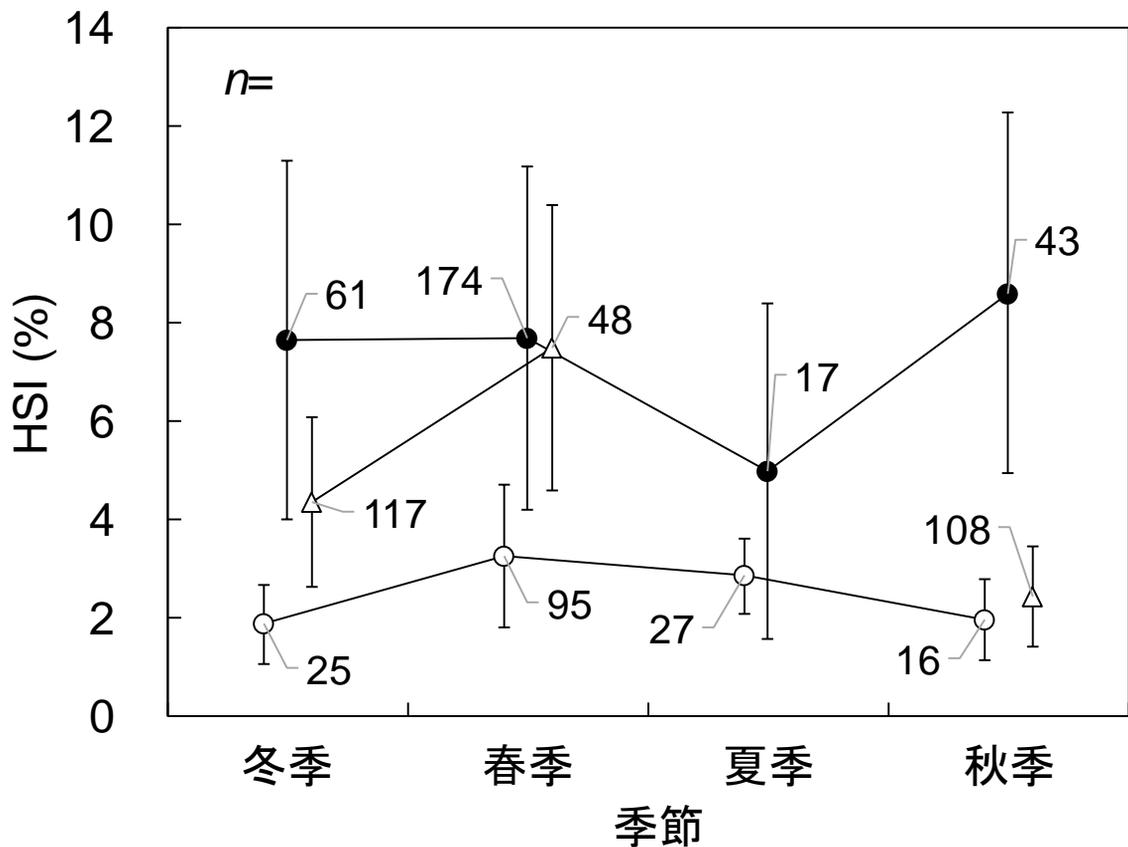


図3-4 キアンコウ *Lophius litulon* のHSIの海域別季節変化. ○印は日本海, ●印は津軽海峡, △印は太平洋をそれぞれ示す.

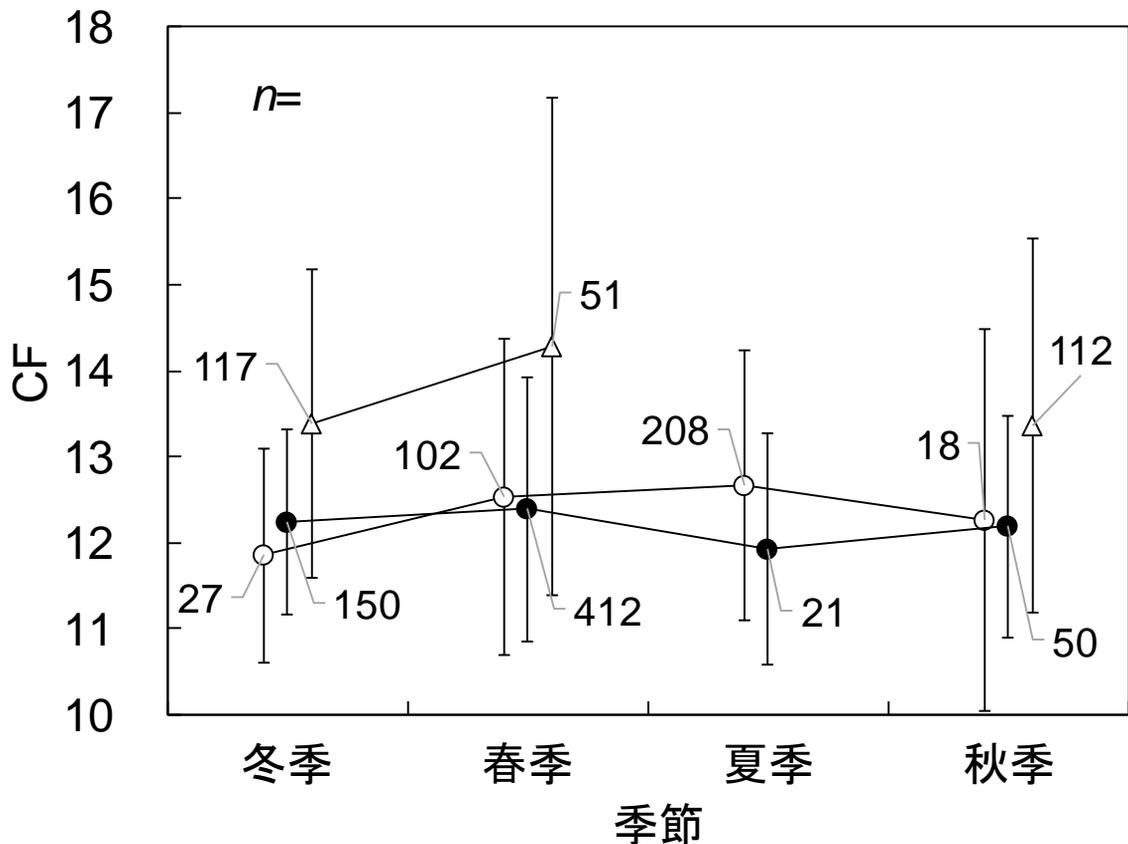


図3-5 キアンコウ *Lophius litulon* のCFの海域別季節変化. ○印は日本海, ●印は津軽海峡, △印は太平洋, エラーバーは標準偏差, ラベルは試料魚数をそれぞれ示す.

CF の季節ごとの平均値は、日本海で 11.5–12.7, 津軽海峡で 11.9–12.4 の範囲を示し、有意な季節変化は認められなかった(一元配置の分散分析, 日本海: $p=0.27$; 津軽海峡: $p=0.29$, 図 3–5)。一方, 太平洋では秋季 13.4(標準偏差 ± 1.4), 冬季 13.4(± 1.8), 春季 14.3(± 0.7)を示し, 春季に有意に高く($p<0.001$), 夏季は不明であるがそれ以外の季節には他の 2 海域に比べて高い平均値を示した。

3–4 考察

キアンコウは、若齢から多様な漁業対象種を捕食しており、青森県周辺海域における底生水族群集中で高い栄養段階を占め、群集構造に対して一定の影響力を及ぼす生物種であると考えられた。

各海域における *IRI* の合計値はそれぞれ, 日本海 36,402, 津軽海峡 23,353, 太平洋 34,790 であり, 津軽海峡の値が他海域よりも低かった。魚類の %*IRI* が日本海 98.8 %, 津軽海峡 99.4 %, 太平洋 98.0 % と高かった(表 3–2, 図 3–2)。捕食していた魚種は海域によって異なり, 日本海ではマアジやカレイ類等, 津軽海峡ではキアンコウ(共食い)等, 太平洋ではマダラ等だった。前章までで述べたように, 本種の摂餌行動を考慮すれば(小坂 1966; 河野 2011; Park *et al.* 2014), 本種の餌選択は生息海域の魚類相を反映して, 海域によって多様な魚種を利用していたものと考えられた。また, マアジとイカ類を除いて, 底生魚類を多く捕食していた。また, 前章で示したように津軽海峡では *IRI* が低く, 夜間に表層へ浮上する行動がみられ, マアジのような浮魚を捕食していたことから, 浮上コストを費やしてでも, 不足する餌を捕う行動をとっていた可能性がある。

出現した頭足類は全てイカ類で, %*IRI* は全体として高くはないが, 日本海 1.2%,

津軽海峡 0.4%, 太平洋 2.0%と魚類に続いた(表 3-4)。頭足類は, 日本海ではスルメイカ・ヤリイカ・アオリイカ *Sepioteuthis lessoniana*, 津軽海峡ではスルメイカ, 太平洋ではスルメイカ・アオリイカがそれぞれ捕食されており, %IRI は, 日本海では 201–400 mm TL で 0.8%, 401–600 mm TL で 4.0%, 太平洋では 401–600 mm TL で 4.2%, >600 mm TL で 49.3%と, 全長が大きくなるほど高く, 特に>600 mm TL で高い値を示した(表 3-3)。日本海の>600 mm TL は標本数が 5 個体と限られていたが, 頭足類の%IRI が 31.6%と, 太平洋の同クラスと同様に高い値を示した(表 3-5)。津軽海峡において, 頭足類は, 600 mm TL 未満では捕食が認められず, それ以上の個体でのみ捕食が確認されたが, %IRI は 8.8%を示し, 微量とはいえない割合を示した(表 3-4)。従って頭足類は, 海域によってその依存度は異なるが, キアッコウが成長するにつれて餌として利用できるようになる餌生物と考えられた。

本調査では, 日本海 401–600 mm TL で 1 個体 304.0 g, 津軽海峡 401–600 mm TL で 1 個体 264.6 g, >600 mm TL で 7 個体合計 3,174.0 g に上る未成年魚に対する共食いが認められた(表 3-3)。特に津軽海峡>600 mm TL では, %IRI で 58.4%と高い相対重要度を示した。これは, 津軽海峡では流速が速く, 本種が主要な餌料とする底生魚類の豊度が低いことや, 本種が水深 100 m 前後の限られた範囲に集中分布していたこと(前章参照)により, 共食いが生じやすかったのかもしれない。共食いは, 他のアンコウ類でも報告されている(Maurer and Bowman 1975; Gordo and Macpherson 1990; Armstrong *et al.* 1996)。本調査で認められた共食いは, 大型魚による小型魚の捕食で, 生息範囲において偶然に遭遇した小型魚を捕食したと考えられた(Park *et al.* 2014)。共食いは, 魚類群集内で密度調節的役割を担っており, 魚食性魚類において一般的である(Smith and Reay

1991)。東北周辺海域では 2013 年前後生まれと推察されるキアンコウの小型魚が、底曳網等に多く入網しており(福島県水産試験場・茨城県水産試験場・秋田県水産振興センター・山形県水産試験場私信), 当海域でも体サイズから逆算して 1-3 歳と推定される若齢魚が高密度で生息していたために共食いが生じたと考えられる。

空胃率は海域間で大きく異なり, 日本海では周年を通じて変化が小さかったが(46.2-55.6%の範囲), 冬-春季の津軽海峡(77.8-77.6%)と冬季の太平洋(89%)では高かった。HSI も海域間の差が大きく, 日本海では空胃率が低かったにもかかわらず, HSI は他海域よりも常に低かった(1.9-3.2%の範囲)。津軽海峡では夏季のみ HSI が低く(5.0%), 他の季節は高かった(7.7-8.6%)。太平洋では HSI が春季に高く(7.5%), 冬季(4.4%)と秋季(2.4%)に低かった。海域を通じて, 産卵期と考えられている春季に HSI が高く, 産卵後の夏季から秋季に空胃率が低かったことから, 産卵後は栄養状態を回復するために積極的に摂餌しているものと推定された。

一方, CF は太平洋を除いて他の 2 海域で明瞭な季節変化を示さなかったことから, 肝臓や生殖腺等, 体内器官の重量の季節変化は大きい, 内臓除去重量に季節変化は小さいものと推定された。本種は肝臓重量が高く, 他魚種と比べて肝臓の粗脂肪量が極めて高いことが知られており(文部科学省 2015), 脂質を筋肉よりも肝臓に多く蓄積して, エネルギーとして利用していると考えられた。一方, 太平洋の CF は夏季のデータがないとはいえ, 他の季節の平均値で 13.4-14.3 の範囲を示し, 日本海の 11.5-12.7 や津軽海峡の 11.9-12.4 と比較して, 常に高かった。また, 太平洋の空胃率は冬季に高く, 春・秋季に低く, 主たる餌生物は ≤ 400 mm TL では底曳網漁業では未利用資源で豊度が高いと考えられる定着性魚類のミギガレイ, 401-600 mm TL では若齢マダラ, >600 mm TL ではスルメイカと回遊性の生物種に依

存していた。太平洋は日本海よりも水温が低く(今村・永峰 2016), 代謝コストを抑制できたことが CF が高い理由の一つと考えられた。また, 今回の標本が, 定着性で未利用資源のミギガレイを主たる餌としている<400 mm TL クラスに集中しており, このような太平洋の底生魚類の豊度の高さを反映していたのかもしれない。このように津軽海峡に高密度に分布・産卵するキアコウにとって太平洋は, 産卵を終えた個体や, 未成熟個体が津軽海峡から徐々に分散分布し, 共食いが生じない太平洋で未成魚は栄養の蓄積を, 成魚は栄養状態の回復に成功する生育・回復場として利用しているのかもしれない。

本研究では, 胃内容物重要度指数(餌生物重量(g) $\times 10^3$ / 体重(g))を海域別・季節別・体サイズ別に解析するには, 餌生物である魚種が多様であり, 且つ空胃個体が多かったことから困難であった。また, 太平洋では底曳網漁業の禁漁期間のため, 夏季の試料が十分に採集できなかったため, この点については今後の標本の充実を図る必要がある。さらに HSI や CF のデータは 11 年間にわたるデータであり, 経年的な変化によって, 海域間の差に経時的な変化が含まれている可能性もある。そのため, 本研究で推定した栄養状態の海域差が普遍的なものか, 今後とも調査を継続して検証する必要がある。

第4章 成長と成熟

4-1 年齢査定法の確立

4-1-1 目的

東シナ海のキアンコウでは脊椎骨椎体(以下、「椎体」と表記)の輪紋が有効とされており、1年に1本の輪紋形成に基づき成長式が推定されている(Yoneda *et al.* 1997)。一方、日本海南西海域では椎体輪紋は1年に2本形成されるものと推定されている(河野 2010b)。また東シナ海の成長式から求められる年間成長量は、常磐海域で体長組成から推定した年間成長量(堀 1993; 池川ら 2000; 岩ら 2010)より小さい。キアンコウと同属の Angler *Lophius piscatorius* と Blackbellied angler *Lophius budegassa* は、背鰭第一棘(誘因突起)を用いた解析手法が提示されており、第1輪は着底輪で、以降の輪紋は1年に1本形成される(Duarte *et al.*, 2002)。しかし、キアンコウについては未だ背鰭第一棘を用いた年齢査定はいずれの海域でも実施されていない。本研究は、キアンコウの背鰭第一棘による新たな年齢査定法を確立するため、背鰭第一棘の処理法や観察法などを検討した後、輪紋の読み取り誤差などを椎体による年齢査定結果と比較し、年齢形質としての有効性を検証した。

4-1-2 材料と方法

試料 キアンコウは、2013年11月から2016年3月までの期間、青森県周辺海域の日本海、津軽海峡、太平洋において、刺網漁業および底建網漁業、沖合底曳網漁業、水産研究・教育機構東北区水産研究所漁業調査船・若鷹丸(692トン)およ

び地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所調査船・青鵬丸(65トン)による着底トロールによって得られた(図 3-1)。標本は凍結して研究室に持ち帰り、解凍後、全長(Total length 以下 TL と表記;1 mm 単位)の測定と性判別を行い、背鰭第一棘および脊椎骨の第 8 椎体を採集した。

206 個体の背鰭第一棘(付表 4-1-1)について、熱湯で煮沸して表皮等を除去後、骨組織を乾燥させ、以下の齢査定に用いた。

背鰭第一棘の横断面の観察は、結果で示す処理で最終的な輪紋数(不透明帯の外縁の数)の計数方法を決定後、2 回読み取りを行い、一致していた場合はそのまま、2 回の読み取り結果が不一致の場合はもう 1 回読み取りを行い、3 回目と同一の読輪数を示した方を不透明帯数として採用した。3 回の読輪数がすべて不一致の標本はみられなかった。それぞれの読み取りは、2 週間以上の間隔を空けて行った。

脊椎骨による齢査定には、166 個体の第 8 椎体(付表 4-1-2)を用いた。Yoneda *et al.*(1997)の方法に従って第 8 椎体を熱湯で煮沸した後、正面から水平に切断して、背側の切断面を観察した。

背鰭第一棘の処理 背鰭第一棘は、根元から 5 mm ずつエポキシ樹脂(Specifix-20, Struers 社製, デンマーク)に包埋し、厚さ 0.25 mm で横断面が露出する様に硬組織精密切断機(ゼーゲマイクローム SP1600, Leica Biosystems 社製, ドイツ)で切り出した。

背鰭第一棘のうち 31 個体分について、エッチング処理として 1 mol/L の塩酸に 30 秒間浸漬、並びに染色処理としてアリザリンレッド S 溶液(0.1(w/v)%), メチルレッド溶液(0.1(w/v)%), アセトカーミン溶液(0.1(w/v)%), メチレンブルー溶液(0.1(w/v)%), アルシアンブルー溶液(0.1(w/v)%の 5 種の各染色剤に 4 時間浸漬

後、水洗した。併せて、各染色剤の pH を、ガラス電極式 pH メーター (SK-640PH, (株)佐藤計量器製作所, 東京) で測定した。また、切り出し部位の相違による読輪数の比較を行った。さらにこれら 31 個体を含む 48 個体について、メチレンブルー処理された横断面について実体顕微鏡 (SZH10, オリンパス株式会社製, 日本) の透過光あるいは落射光下で付属のデジタルカメラ (DP21, オリンパス株式会社製, 日本) で写真撮影して読輪数を比較し、加えて両者を一定基準 (結果に記載) で切り替えた計数も行った。

不透明帯形成時期の検証 背鰭第一棘と椎体について、縁辺における不透明帯の有無と形成時期について検証した。背鰭第一棘の縁辺では、不透明帯が全周同時に形成されることは少なく、一部から徐々に形成される様子が認められたことから、縁辺全体のおよそ 80% に形成されている場合を縁辺あり、およそ 20–80% に形成されている場合を不完全な縁辺、20% 未満を縁辺なしとして区分した。

年齢形質の読み取り者の相違によって生じる誤差の推定 背鰭第一棘と椎体について、年齢形質としての有効性の検証は、無作為に選抜した 20 個体の標本群について、水産資源の齢査定に関する研究歴が 3 年以上の読み手 3 人 A, B, C がそれぞれ独立して不透明帯数の読み取りを行い、結果を比較した。読み取り精度の指標として、個体毎に変動係数 CV と平均エラー率 Average percent error (APE) を、標本群毎にこの変動係数の平均値 $mean\ CV$ と平均エラー率指数 Index of average percent error ($IAPE$) (Beamish *et al.* 1981) を、以下の式により求めた。

$$CV_j[\%] = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j} \cdot 100, \quad mean\ CV[\%] = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N CV_j,$$

$$APE_j[\%] = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \cdot 100, \quad IAPE[\%] = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N APE_j$$

ここで R は読み取り人数 (本研究では全体での比較では 3 人, 読み取り者間の比較では 2 人), N は標本群の個体数 (20 個体), X_{ij} は j 番目の標本魚の i 回目の不透明帯の読輪数, X_j は j 番目の標本魚の平均不透明帯読輪数をそれぞれ示す。 CV_j は標準偏差を平均値 X_j で割っているため, 平均不透明帯読輪数の異なる個体間での比較が可能である。また, *mean CV* と *IAPE* は, 標本群 (背鰭第一棘と椎体) の読み取りのばらつき具合の相対的な指標であり, 平均不透明帯読輪数の異なる標本群間での比較が可能である。また, これらに用いた 20 個体について, 観察者 A 対 B, B 対 C, A 対 C の各ペアについて, *Campana et al.* (1995) したがって背鰭第一棘および椎体それぞれで読み取られた不透明帯数の平均値を, 同一透明帯数ごとに求め, プロットして比較した。なお各読み取り者は, 2 週間以上間隔を空けて 2 回読み取りを行い, 2 回の読み取り結果が不一致の場合はもう 1 回読み取りを行い, 読み取り数が一致した方を不透明帯数としてこの解析に用いた。3 回の読輪数がすべて不一致の場合は本研究では用いないこととした (しかし本研究では実際はこのような標本はみられなかったため, 結果的にすべての標本を用いた)。また各読み取り者の読輪数は伏せて, 独立して読み取った。

成長式の推定法 結果で示す最終的な背鰭第一棘の横断面の観察法により, 1 名の読み取り者が雌 121 個体, 雄 76 個体, 合計 197 個体の年齢査定を行った。雌雄込みの不透明帯数から推定した年齢と全長のデータを用いて, 最小二乗法により, *von Bertalanffy* 成長式とその寄与率を回帰分析した。雌雄を込みにして成長式を推定した理由は, 雌雄別に推定できるほど十分な個体数ではなかったためである。

解析には Microsoft Excel のソルバー機能を用い、寄与率は t 検定で検定した。なお、予備試験として青森県津軽海峡沿岸の定置網に入網した本種の卵帯を用いて人工孵化試験を実施した結果、孵化直後の仔魚の全長は約 3 mm であったことから、年齢 0 歳の全長が 3 mm を通る様にソルバー機能に含まれる制約条件にこの値を設定して推定した。また、本種の卵帯は沿岸定置網に 5-6 月に入網することが多いことから(竹谷ら 未発表)、6 月 1 日を孵化日と仮定し、6 月から標本採集月までの月数を小数点以下の数値を含む年齢に変換して用いた。

4-1-3 結果

背鰭第一棘横断面の処理方法による輪紋判別状況の相違 背鰭第一棘横断面の処理方法による輪紋判別状況の相違を、表 4-1-1 に示す。まず、樹脂包埋、切り出しされた背鰭第一棘の横断切片上では、輪紋状の構造は視認されるが、落射光および透過光を比較的通さない不透明帯の輪紋は極めて不明瞭であり(付図 4-1-1a)、個体によっては計数が困難であった。エッチング処理後は、光を透過しやすい透明帯の表面が溶出して不透明帯が隆起している様子が認められた(付図 4-1-1b)。さらに、エッチング処理前は確認できなかった細く隆起した不透明帯も観察された。また、メチレンブルー溶液に 4 時間浸漬して染色し、流水で染色液を洗い流した後に観察した結果、隆起した不透明帯が透明帯と比べて染色されやすい傾向が認められ、視認しやすくなった(図 4-1-1, 付図 4-1-1c)。アリザリンレッド S 溶液(付図 4-1-2b)、メチルレッド溶液(付図 4-1-2c)、アセトカーミン溶液(付図 4-1-2d)、アルシアンブルー溶液(付図 4-1-2f)による染色では、透明帯および不透明帯がほぼ一様に染色され、陰影が強調されることでエッチング処理しただけのもの(付図 4-1-1b)と比

表4-1-1. エッチングおよび染色によるキアンコウ *Lophius litulon* 背鰭第一棘横断面における輪紋構造の視認性の検証

エッチング	染色	染色 時間 (h)	染色 pH	検証結果
未処理				輪紋状の構造は視認されるが、落射光および透過光を比較的通さない不透明帯の輪紋は極めて不明瞭であり(付図5-1-1a)、個体によっては計数が困難。
	未処理			エッチング処理後は光を透過しやすい透明帯の表面が溶出して不透明帯が隆起し、エッチング処理前は確認できなかった細く隆起した不透明帯も観察される。しかし不透明帯と透明帯のコントラスト差は弱い。
処理	メチレンブルー	4	4.1	隆起した不透明帯が透明帯と比べて染色されやすい傾向が認められ、視認しやすくなった。いくつかの透明帯は深く溶出して僅かに染色されるが、不透明帯と区別することはできる。
	アリザリンレッドS	4	6.6	
	メチルレッド	4	5.9	透明帯および不透明帯がほぼ一様に染色されて陰影が強調されることでエッチング処理したただけのものと比較して視認しやすいが、メチレンブルー溶液による染色ほどコントラスト差は生じない。
	アセトカーミン	2*	1.8	
	アルシアンブルー	4	4.8	

* アセトカーミンは最も酸度が高く、染色時間が2時間を超えると背鰭第一棘組織が樹脂から脱落した。

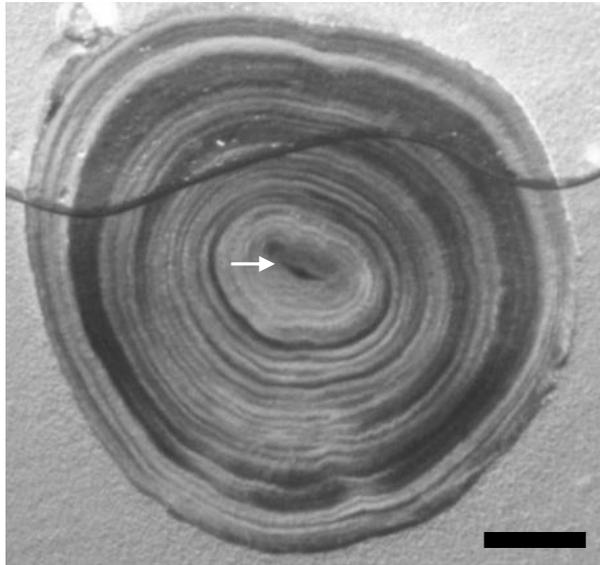


図4-1-1 キアンコウ *Lophius litulon* (683 mm TL, 日本海で2015年6月10日採集)背鰭第一棘の横断面をエッチングし, メチレンブルー染色液で4時間染色した切片. スケールバーは200 μm を示す.

較して視認しやすくなった。ただし、メチレンブルー溶液による染色(付図 4-1-3, 付図 4-1-2e)ほどコントラストの差は生じなかった。使用した各染色剤の pH はそれぞれ、アリザリンレッド S 溶液 pH 6.6, メチルレッド溶液 pH 5.9, アセトカーミン溶液 pH 1.8, メチレンブルー溶液 pH 4.1, アルシアンブルー溶液 pH 4.8 であった。最も pH が酸性を示したアセトカーミン溶液による染色は、染色時間が 2 時間を超えると、背鰭第一棘組織が樹脂から脱落した。

エッチング処理とメチレンブルー染色処理の有効性を検証するために、未処理とこれらの処理済みの標本について、不透明帯の計数結果を比較した(図 4-1-2)。観察には後述の実体顕微鏡の透過光および落射光を組み合わせた観察法を用いた。その結果、31 個体中 7 個体は、未処理の状態で読輪することができなかったが(未処理 0 本として図示)、処理後は 1-6 本の不透明帯が確認された。また、残りの 24 個体についても、処理済みの標本は未処理のものよりも、不透明帯数を 1-7 本多く計数された。

背鰭第一棘の切り出し部位ごとの可読透明帯数の相違 エッチング処理とメチレンブルー染色処理された、背鰭第一棘横断面観察の結果、475 mm TL の個体背鰭第一棘からは、根元に近いほど多くの不透明帯が認められた(付図 4-1-3)。根元側では、第 1 輪として長方形で中央に核を持つやや不明瞭な不透明帯が認められたが、他の輪紋はおおむね楕円形だった(図 4-1-1, 付図 4-1-3)。

根元(Posterior end)から 5 mm ほどの横断面の可読不透明帯数は、根元からの距離が遠のくほど少なくなる傾向を示した(図 4-1-3)。一方、根元側付近は、基部(base of illicium)が周辺を覆い(付図 4-1-3a)、縁辺の確認が困難であった。従って、以下の観察では、内側に楕円形の輪紋が確認できて後述のとおり輪紋数の読み

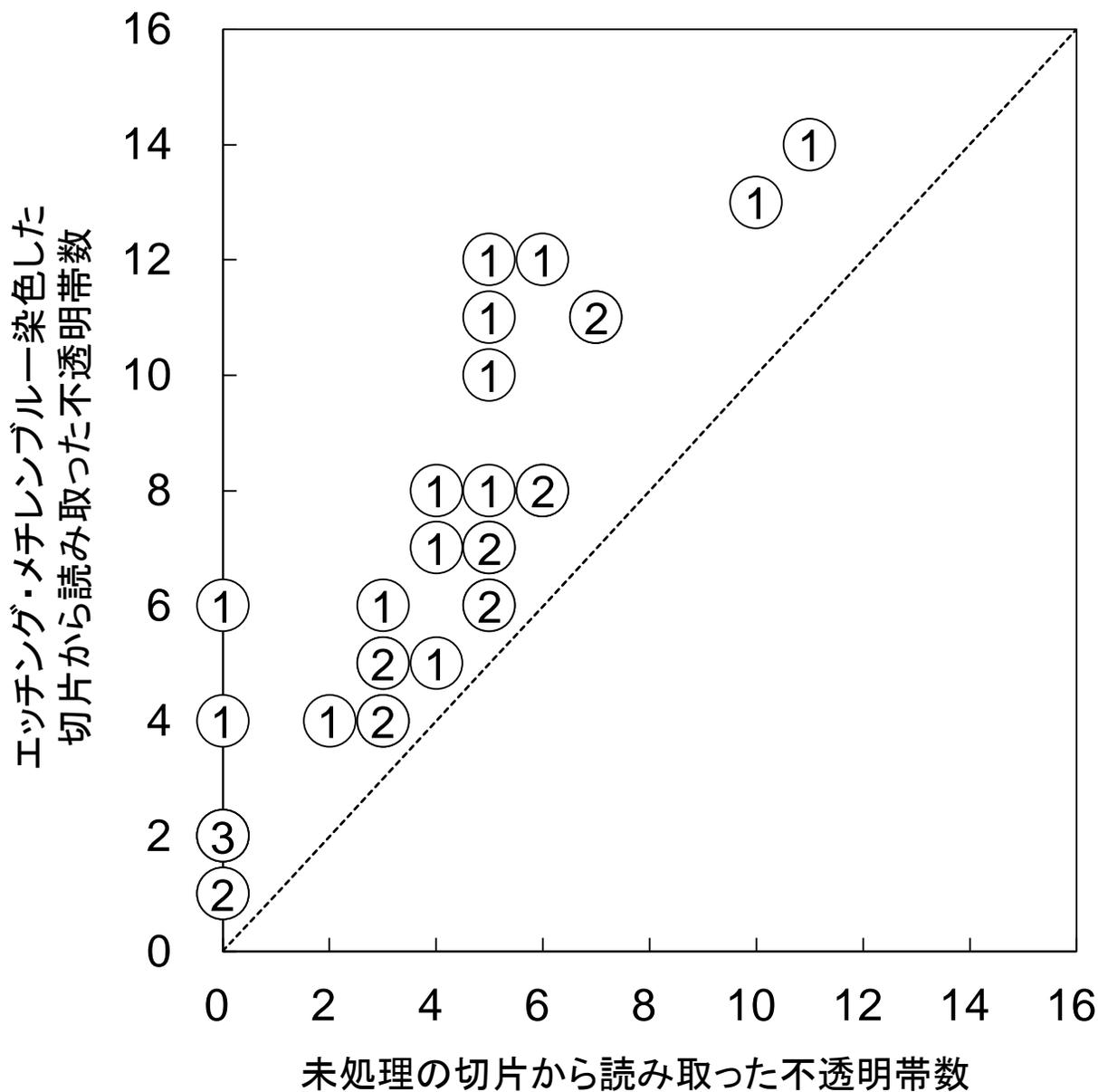


図4-1-2 キアンコウ *Lophius litulon* 背鰭第一棘の横断面を未処理の切片とエッチング・メチレンブルー染色した切片から読み取った不透明帯数の比較. 値は試料魚数を示す. $n = 31$.

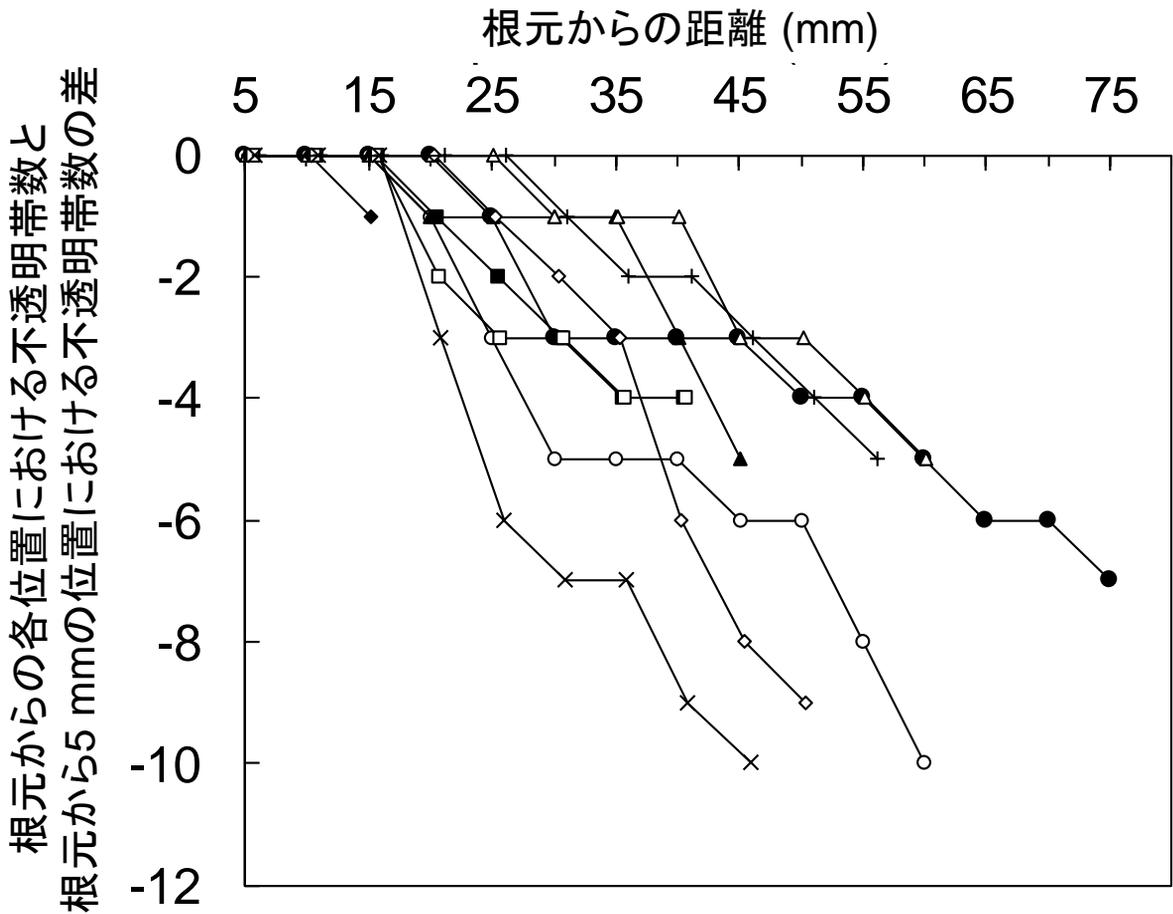


図4-1-3 キアンコウ *Lophius litulon* 背鰭第一棘根元からの5 mmの位置における不透明帯数と根元から各距離における不透明帯数の違い. 31個体のうち10個体を例示する. 根元から10 mmの範囲内で違いは認められなかった.

落としが少ない根元から 10 mm の範囲のうち、基部が周辺を覆っていない部分の横断面を用いた。

透過光と落射光による背鰭第一棘横断面の観察結果の相違 背鰭第一棘横断面観察する際、実体顕微鏡の透過光と落射光による観察結果を比較したところ、48 個体中 26 個体において読み取り数が一致した(図 4-1-4)。一方、11 個体では落射光の方が最大 3 本多く、逆に 11 個体では透過光の方が最大 4 本多く読み取られた($CV=7.0\%$)。例として、落射光で 6 本、透過光で 10 本と読み取られた標本では(付図 4-1-4a)、透過光においてエッチング処理によって深く窪みになった透明帯の中央帯に染色液が溜まって、通常透明帯よりもやや強く染色されることによって不透明帯と誤認されて、落射光よりも多く読み取られていた。逆に、落射光で 10 本、透過光で 8 本と読み取られた標本では、落射光で確認できる近接した 2 本の不透明帯が、透過光では太い 1 本の不透明帯と認識されて、落射光よりも少なく読み取られていた(付図 4-1-4b)。

読み手の違いによる輪紋数の差も生じた。例えばひとりの読み手が 2 回もしくは 3 回の読み取りによって最終的に落射光で 8 本、透過光で 12 本と読み取った標本では(付図 4-1-4c)、他の 2 名の読み手はそれぞれ、落射光で 8 本と 11 本、透過光で 9 本と 12 本と読み取り、読み手によっては染色の程度が弱い不透明帯を読み取らない場合があった。

しかし、これらの深い窪みである透明帯の染色液溜まりによるやや強い染色と、不透明帯の不十分な染色による読み取りの差は、透過光と落射光の両者を用いて比較観察することで区別できた。具体的には、読み手が深い窪みによる透明帯への染色の方が透過光下で薄く見え、染色の程度がほとんど変化しない不透明帯への染色と

区別できるようになった結果、それぞれの光の条件を独立して観察した場合よりも変動係数は小さくなった($CV=5.7\%$)。従って以下の背鰭第一棘横断面観察では、透過光と落射光の双方を切替えて輪紋の計数を行った。

背鰭第一棘縁辺および椎体縁辺における不透明帯の出現時期 背鰭第一棘および椎体縁辺における不透明帯の出現率は採集月によって異なった(図 4-1-5)。背鰭第一棘の6月のピークは、輪紋縁辺が不完全な標本を含めて96%を示した後、7-10月には35-42%まで低下し、11-12月には再び96-100%を示した。3-4月には0-9%に低下した。つまり背鰭第一棘の縁辺には、年2回不透明帯の出現が観察された。

椎体は6月に100%を示した後、9-10月は47-54%まで低下し、11月に73%まで上昇した後は5月まで7-31%を示した。従って椎体の縁辺にも、年2回不透明帯の出現が観察された。

年齢査定精度の検証 20個体の背鰭第一棘と椎体について、3人の読み手が独立に読み取りを行った(表 4-1-2)。背鰭第一棘の *IAPE* は 5.2%, *mean CV* は 6.9%を示した。一方、椎体では *IAPE* は 17.4%, *mean CV* は 23.7%を示し、背鰭第一棘に比べて平均エラー率、変動係数のいずれも高く、読み取り精度は低かった。また、両者における不透明帯の読輪数を比較した結果、20個体×3回の計60回の試行のうち17回は一致したが、背鰭第一棘と比較して椎体では18回が1-7本多く、逆に25回が1-6本少なく計数された。60回の試行で、椎体は背鰭第一棘に比べて毎回平均0.22本少なく計数していた。

読み手の相違による読輪数を比較した結果、背鰭第一棘では20個体のうち、A対Bで11個体(*IAPE*=4.5%, *mean CV*=6.3%), B対Cで10個体(*IAPE*=5.3%,

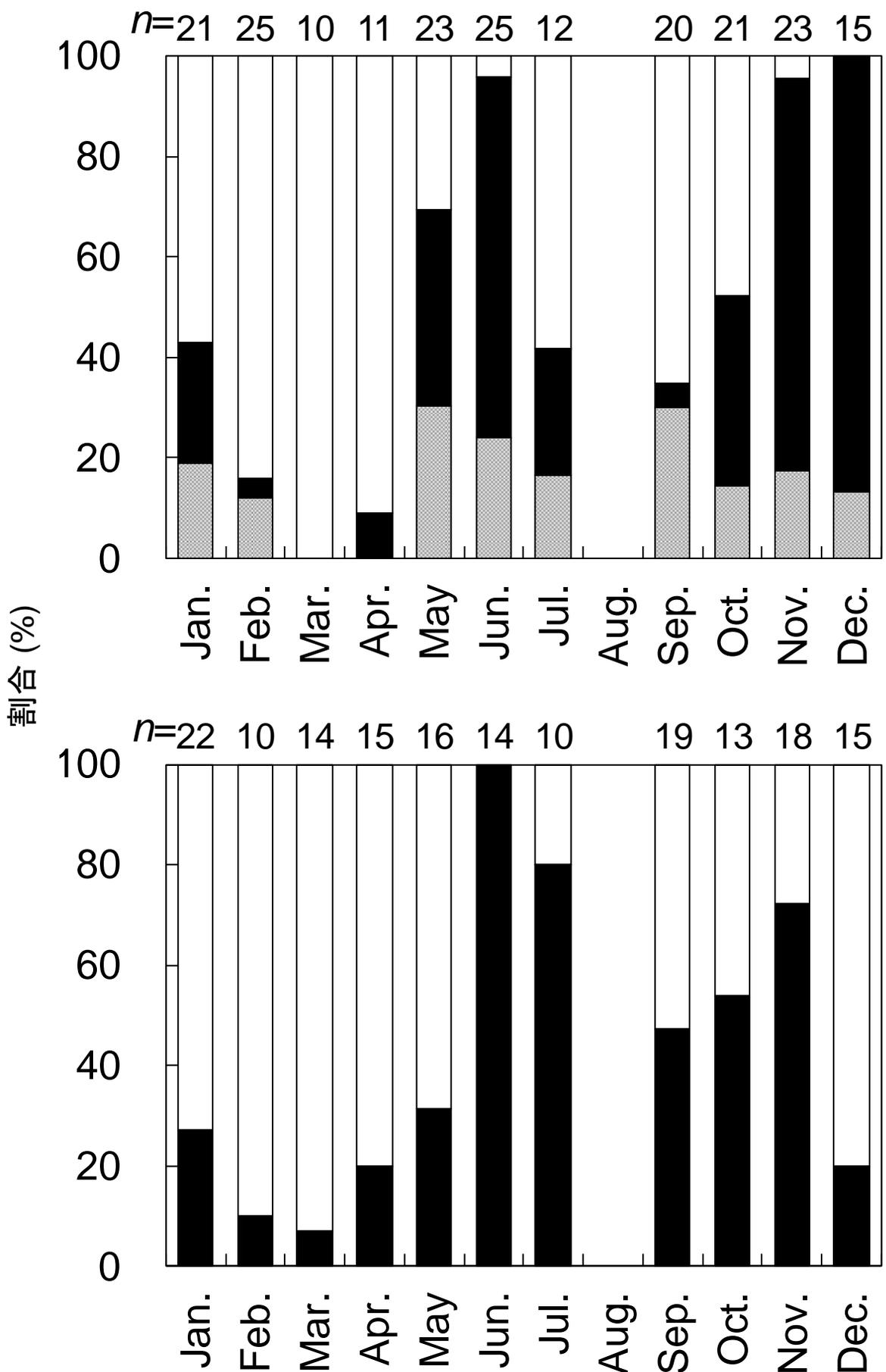


図4-1-5 キアンコウ *Lophius litulon* 背鰭第一棘(上段)と椎体(下段)の縁辺における不透明帯の出現率. 縁辺全集のうち, 不透明帯が黒色>80%, 灰色20-80% 白色<20%を占めることを示す. nは試料魚数.

表4-1-2. 3人の観察者が計数したキアンコウ *Lophius litulon* の背鰭第一棘および椎体の不透明帯数

背鰭第一棘						椎体					
試料魚	観察者	観察者	観察者	APE	CV	試料魚	観察者	観察者	観察者	APE	CV
nr	A	B	C	(%)	(%)	nr	A	B	C	(%)	(%)
1	12	9	12	12.1	15.7	1	10	12	13	9.5	13.1
2	14	14	14	0.0	0.0	2	8	12	10	13.3	20.0
3	8	9	8	5.3	6.9	3	6	9	6	19.0	24.7
4	8	11	8	14.8	19.2	4	6	12	7	29.3	38.6
5	2	2	2	0.0	0.0	5	2	3	2	19.0	24.7
6	11	11	11	0.0	0.0	6	10	7	10	14.8	19.2
7	5	6	5	8.3	10.8	7	5	7	6	11.1	16.7
8	5	4	4	10.3	13.3	8	5	5	4	9.5	12.4
9	12	9	12	12.1	15.7	9	10	9	11	6.7	10.0
10	7	8	6	9.5	14.3	10	7	12	13	22.9	30.1
11	13	11	13	7.2	9.4	11	13	9	13	15.2	19.8
12	5	5	5	0.0	0.0	12	5	3	7	26.7	40.0
13	3	3	3	0.0	0.0	13	3	4	4	12.1	15.7
14	5	5	6	8.3	10.8	14	5	4	7	20.8	28.6
15	5	5	5	0.0	0.0	15	5	8	4	27.5	36.7
16	4	4	5	10.3	13.3	16	2	4	3	22.2	33.3
17	9	9	9	0.0	0.0	17	9	8	12	16.1	21.5
18	12	11	10	6.1	9.1	18	9	7	10	12.8	17.6
19	8	8	8	0.0	0.0	19	7	11	10	16.7	22.3
20	6	6	6	0.0	0.0	20	5	8	5	22.2	28.9
				IAPE	mean CV					IAPE	mean CV
				5.2	6.9					17.4	23.7

mean CV=7.6%), A 対 C で 15 個体 (*IAPE*=2.4%, *mean CV*=3.4%) が一致し (表 4-1-2; 図 4-1-6), 前者読輪数に対して後者の平均読輪数が取り得る 95%信頼区間は全体として±0.31 本を示した。

椎体では 20 個体のうち, A 対 B で 1 個体 (*IAPE*=17.8%, *mean CV*=25.2%), B 対 C で 1 個体 (*IAPE*=16.4%, *mean CV*=23.2%), A 対 C で 5 個体 (*IAPE*=10.1%, *mean CV*=14.3%) が一致し (図 4-1-6), 前者読輪数に対して後者平均読輪数が取り得る 95%信頼区間は全体として±0.67 本を示し, 背鰭第一棘よりも大きかった。

成長式 年齢査定の結果から, 雌雄込みの von Bertalanffy 成長式を推定した (図 4-1-7)。

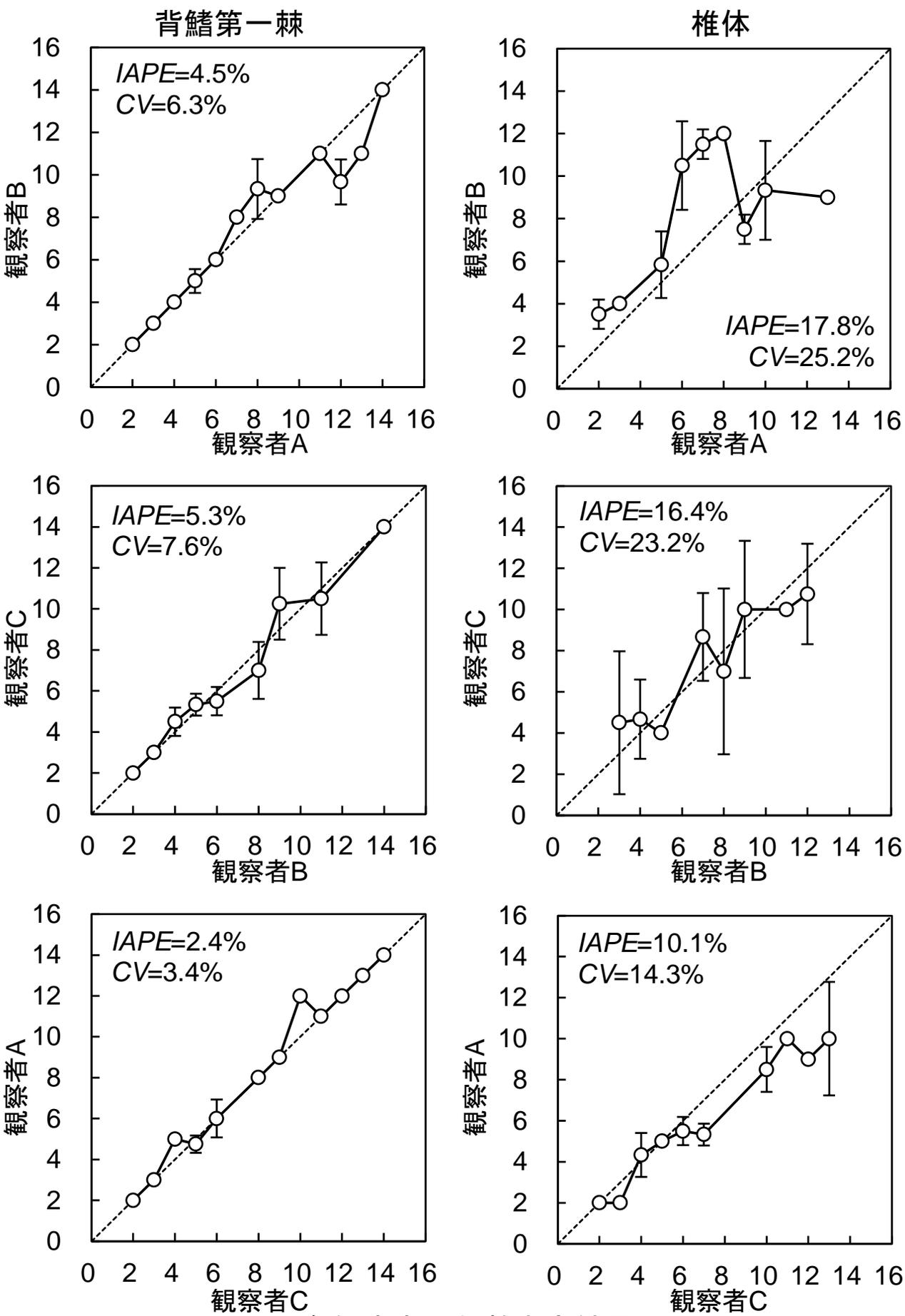
$$TL_t = 955(1 - e^{-0.199(t + 0.0264)}) \quad (r^2 = 0.707 \quad n = 197, \quad p < 0.001)$$

ここで TL_t は標本魚の年齢 t 歳における全長 (mm), t は年齢を示す。

4-1-4 考察

キアコウの浮遊仔魚は, 腹鰭が体長のおよそ 1/3 程度まで伸長する独特の形態を呈する (水戸 1963; 星野ら 2006)。2015 年 7 月 8 日に青森県日本海沖合の底曳網で, 浮遊仔魚期よりも腹鰭が短く, 成魚のそれと類似した形態から着底直後と考えられる 59 mm TL の稚魚が採集された。その個体の背鰭第一棘の横断面には, 中央に核が存在し, その外側に特徴的な長方形の輪紋が認められた (図 4-1-8)。またこれより大型の個体においても, 根元側では, 第 1 輪として長方形で中央に核を持つやや不明瞭な不透明帯が認められた (付図 4-1-5a)。近縁種である Angler と Blackbellied angler では, この様な第 1 輪は着底時に形成されると考えられており,

各観察者の年齢査定結果



各観察者の年齢査定結果

図4-1-6 キアンコウ *Lophius litulon* 背鰭第一棘(左段)と椎体(右段)を用いた3人の観察者による年齢査定結果の差. 第1観察者が査定した各年齢の個体について, 第2観察者が査定した年齢の平均値を算出してプロットした. エラーバーは95%信頼区間を示す. 試料魚数は20個体.

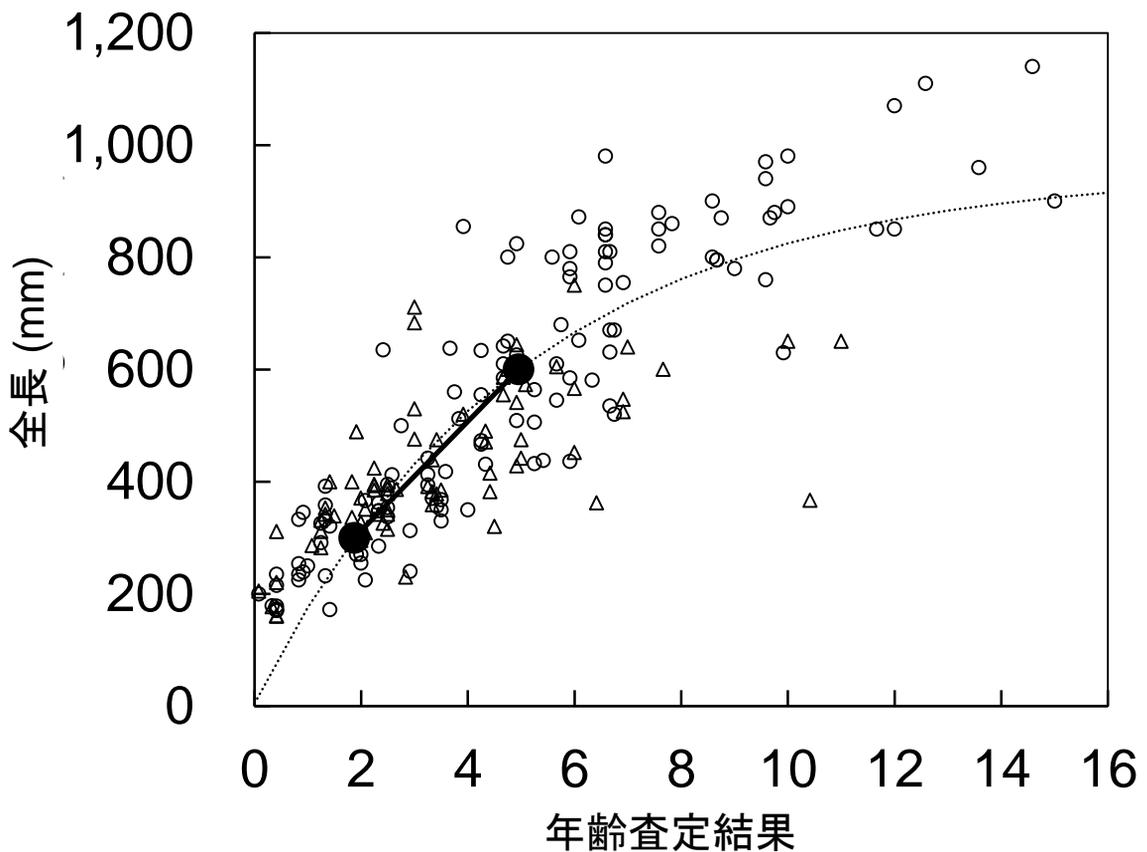


図4-1-7 キアンコウ *Lophius litulon* の雌雄込みのvon Bertalanffy成長曲線と、第3章1項で示した成長の比較. ○印および△印は、雌 ($n = 112$) および雄 ($n = 74$) の個体, 点線は成長曲線をそれぞれ示す. ●印はvon Bertalanffy成長式で推定された300 mm TLおよび600 mm TLにおける年齢をプロットしたもの, 直線は第3章1項で示した標識放流結果のうち, 成長の季節変化の影響を排除するために放流から再捕までの日数が1年以上でありかつ全長の実測データがある34個体 (300–600 mm TL) における年間平均成長率97.8 mm/yearを示したもの.

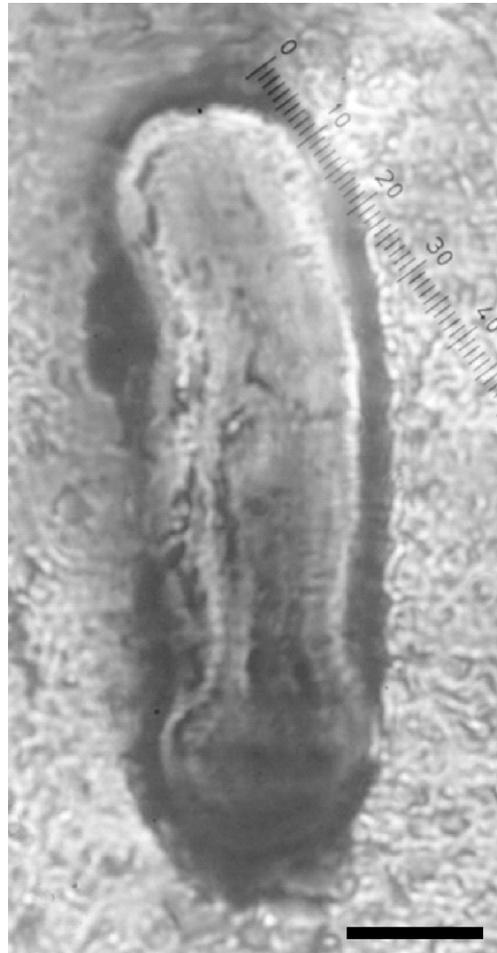


図4-1-8 本調査で採集したキアンコウ *Lophius litulon* のうち最も小型であった個体から得られた背鰭第一棘の横断面写真. この個体は59 mm TLで, 日本海で2015年8月8日に採集された. スケールバーは10 μ mを示す.

着底輪 (benthic ring) と定義されている (Duarte *et al.* 2002)。キアンコウについても、この長方形の第 1 輪は着底輪と考えられた。

また、根元側から先端側に向かって不透明帯数は減少し、根元近くの断面に観察された中央に核を伴う長方形の輪紋は途中で消失した (付図 4-1-3)。このことから、背鰭第一棘の構造は、不透明帯の数だけ重なる筈状であると推察された。一方、根元側に近すぎると基部が周辺を覆い縁辺が透明帯であるか不透明帯であるかの確認が困難であった (付図 4-1-3a)。従って切り出し部位は、根元側は基部の直上から、先端側は着底輪が認められるまでの範囲が適切であり、特に根元から 10 mm の範囲で輪紋数の読み落としが少ない (図 4-1-3)。

Duarte *et al.* (2002) は、近縁種である Angler と Blackbellied angler では、背鰭第一棘の横断面を実体顕微鏡の透過光で観察する方法により年齢査定できることを報告している。一方キアンコウの場合、未処理の横断面では不透明帯の輪紋が不明瞭に視認されるが、エッチング処理およびメチレンブルー染色処理によって、不透明帯を明瞭に視認することができた。観察方法は、実体顕微鏡の透過光観察と落射光観察を比較することで、エッチング処理によって染色の程度の弱い透明帯の最深部に生成した窪みを不透明帯と誤認する懸念を排除し、隣接して密な不透明帯を区分し易く、より正確に計数できると考えられた。

Campana *et al.* (2001) は、多くの年齢査定に関する研究は、*IAPE* が 5.5%、*CV* (本研究の *mean CV*) が 7.6% で実施されていたことを報告している。本研究で報告した背鰭第一棘による年齢査定では、*IAPE* が 5.2%、*mean CV* が 6.9% とこれらの値を下回ったことから、他魚種をやや上回る精度で実施できる手法であると考えられた。

Peabody(1961)は、変温性脊椎動物の一部は、季節周期の影響で代謝・成長が阻害されることによって微細成長縞が形成されることを報告している。キアンコウの背鰭第一棘縁辺の不透明帯出現率は、6月および11-12月と年に2回のピークが存在したことから、背鰭第一棘の横断面に出現する不透明帯は、少なくとも当調査海域では年に2本形成される年齢形質であると判断された。一方、椎体の不透明帯数は、背鰭第一棘と同数である場合が多かったが、大きく異なる場合もあった。椎体縁辺における不透明帯の出現は6-11月まで連続してみられたが、6月と11月に出現した2つのピークは、背鰭第一棘縁辺における不透明帯の出現時期6月と11-12月に類似しており、読輪数も近かったことから、背鰭第一棘と同様に、年に2本形成される年齢形質である可能性がある。これは、Yoneda *et al.*(1997)による東シナ海産キアンコウの年あたり椎体1本という報告とは異なる結果であった。椎体の不透明帯形成時期は青森県周辺海域では水温が低下し始める10-12月と産卵期(5-6月)に相当することから、いずれも代謝・成長が停滞しやすい時期に相当するものと考えられる。一方、河野(2010b)は山口県沿岸において、椎体の輪紋が1年に2本形成される可能性を示唆している。これらの違いは、Yoneda *et al.*(2002)が報告した東シナ海および黄海において回遊している個体群と、山口県沿岸(河野 2010a)や青森県沿岸の様に陸棚上を浅深移動している個体群との生活史の違いによるものなのかもしれない。不透明帯形成の年周期性は、今後も個体群による生息海域や生活史の違いを考慮して、検証する必要があるだろう。

背鰭第一棘横断面観察に基づく von Bertalanffy 式と、本海域で実施した第3章1の標識放流調査結果から得られた年間成長率を比較した。標識放流調査からは、300-600 mm TLにおける年間平均成長率として 97.8 ± 58.8 mm/年(±標準偏差)

を得た。一方、この全長 300 mm から 600 mm に至るまでの平均成長率は、上記の von Bertalanffy 成長式から逆算すると、1.87 歳から 4.95 歳の間の 3.08 年間に 300 mm の増加、すなわち 97.5 mm/年と推定された(図 4-1-7)。このことから、背鰭第一棘は年齢形質として有効であることが示唆された。ただし、各年齢群における全長のばらつきがあった。これは、Yoneda *et al.*(1997)が報告している東シナ海産キアンコウと同様に、雌は雄よりも大型、高齡である可能性がある(図 4-1-7)。

椎体における *IAPE* は 17.4%、*mean CV* は 23.7% を示し、背鰭第一棘のそれらと比較して高い値を示したため年齢査定精度は低く、本海域では積極的に採用する年齢査定法ではない。精度が低かった理由としては、椎体では年に 2 本形成された不透明帯が近接して 1 本と計数する事例が多く、その結果として、高齡になるほど計数の精度が低下したものと考えられる(付図 4-1-5b)。

アブラツノザメ *Squalus suckleyi*(Mcfarlane and Beamish 1987) やタロウザメ *Centrophorus acus*(田中 1990) では、背鰭棘による年齢査定技術が確立されている。一方、マイワシ *Sardinops melanostictus* 背鰭第 1-3 軟条とマサバ *Scomber japonicus* の背鰭第 2 軟条では有効な年輪が認められているが、耳石等と異なり、体サイズへの逆算に必要な基準点となる核が存在しない等の理由により、年齢形質としては不適切であると報告されている(増田 1950)。太平洋のクロカジキ *Makaira mazara* の年齢査定には、鰭棘に出現する年輪が用いられてきたが、輪紋が不明瞭で年輪と偽輪の区別が難しいという問題がある(井嶋 2016)。ヒレナマズ科のアフリカシクララ *Clarias gariepinus* の年齢査定には、胸鰭の棘条が用いられる事もあったが(van der Waal and Schoonbee 1975)、年齢の過小評価が懸念されている(Clay 1982)。一方、青森県周辺海域におけるキアンコウの背鰭第一棘による年齢査定は、

核とその周辺に形成される着底輪と考えられる長方形の不透明帯が形成されるため、体サイズへの逆算の起点として有効である。また、脊椎骨によるものよりも読み取り誤差が小さく、背鰭第一棘による年齢査定結果は標識放流魚の成長追跡結果と類似したことから、優れた年齢査定法と判定した。

青森県周辺海域では他海域に比べて大型のキアッコウが漁獲され、大型魚ほど高値で取引されている。また、椎体は魚体を購入・解剖しない限り年齢査定できないのに対して、背鰭第一棘は可食部ではなく、漁業関係者からの聞き取りによれば、現段階では水揚げ後除去しても商品価値を毀損するものではないとのことである。実際、本研究で用いた標本魚のうち、109 個体分の背鰭第一棘標本および生物測定データは、流通・加工業者から無償で譲り受けたものである。したがって魚類の鱗による年齢査定と同様に、購入費用を節約でき、入手もしやすく、背鰭第一棘を用いた年齢査定は、有用である。

今後は、本海域において解析個体数を増やして、雌雄別の成長式を推定する必要がある。また、他の海域においても、背鰭第一棘を用いた年齢査定の妥当性を検証し、この手法を用いた年齢・成長解析結果と比較することで、本種の生活史特性の海域間の違いが明らかになると期待される。

4-2 性判別法の確立

4-2-1 目的

本種の成長には雌雄差があることが知られており(Yoneda *et al.* 1997; 池川ら 2000, 岩崎ら 2010, 堀 1993), 雌雄を明確に区分するためには試料魚を買い上げて解剖し, 生殖腺の観察により性判別する必要があった。一方, 本種を含むアンコウ科の瘤状鼻管は, 雄の方が雌に比べて相対的に大きく, 性的二型と考えられてきた(Carusio 1975)。外部形態である瘤状鼻管の体長との相対サイズから正確に雌雄が判別できるようになれば, 背鰭第一棘による年齢査定法(第 4 章 1 項)を併用することで, 高価で取引されている本種を買い上げることなく, 成長解析が可能となる。そこで本研究は, 青森県周辺の日本海・津軽海峡・太平洋で採集されたキアンコウについて, 瘤状鼻管幅と全長の測定による性判別法の精度を検証した。また, 漁獲現場の聞き取りから, この瘤状鼻管サイズの性的二型の果たす生態学的役割も考察した。

4-2-2 材料と方法

キアンコウ標本は, 2014 年 4 月から 2016 年 12 月までの期間, 青森県周辺海域の日本海, 津軽海峡, 太平洋において, 刺網漁業および底建網漁業, 沖合底曳網漁業, 水産研究・教育機構東北区水産研究所漁業調査船・若鷹丸(692 t)および地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所調査船・青鵬丸(65 t)による着底トロールにより得られた。標本は凍結して研究室に持ち帰り, 解凍後, 主たる漁獲対象である体重 1 kg 以上の個体, 雄 266 個体(全長 357–1,005 mm), 雌 377 個体(全長 356–1,182 mm)について, 全長(Total length 以下 TL と表記; 1 mm

単位)の測定と解剖による性判別を行い、左右の瘤状鼻管を採集した(図 4-2-1)。瘤状鼻管幅(The bulbous-nasal-tube width 以下 NW と表記, 1 μm 単位)は、実体顕微鏡に装着したデジタルカメラ(DP21, オリンパス株式会社, 東京)で撮影した画像を用いて、顕微鏡イメージングソフトウェア(CellSens Standard 1.9, 同上)で測定し、左右の平均値をその個体の代表値として用いた。全長-瘤状鼻管幅の 1 次回帰式を最小二乗法で求め、その傾きの差について、雌雄間および日本海・津軽海峡・太平洋の 3 つの海域間で、 F 検定を行った。また、後述する性判別法について、100 mm TL 階級別に正答率、誤答率、判別不能率を算出し、体長階級の順序を考慮した比率の Kruskal-Wallis 検定で有意差の有無を検討した(足立 1998)。一方、体長を考慮しない海域間の正答率、誤答率、判別不能率の比較には G 検定を用いた(Sokal and Rohlf 1983)。

4-2-3 結果

体重 1 kg 以上の個体の全長-瘤状鼻管幅間の回帰式は、以下のように推定された。

$$\text{雄, 日本海: } NW=13.749TL-1071.779 \quad (n=56, r^2=0.517, p<0.001)$$

$$\text{雄, 津軽海峡: } NW=15.771TL-1573.187 \quad (n=152, r^2=0.617, p<0.001)$$

$$\text{雄, 太平洋: } NW=16.818TL-2737.316 \quad (n=58, r^2=0.853, p<0.001)$$

$$\text{雌, 日本海: } NW=5.765TL+5.765 \quad (n=32, r^2=0.653, p<0.001)$$

$$\text{雌, 津軽海峡: } NW=6.734TL+289.587 \quad (n=261, r^2=0.640, p<0.001)$$

$$\text{雌, 太平洋: } NW=6.834TL+12.653 \quad (n=84, r^2=0.772, p<0.001)$$

雌雄別に 3 つの海域間で傾きを比較したところ、雌雄ともに有意差がみられた(F 検

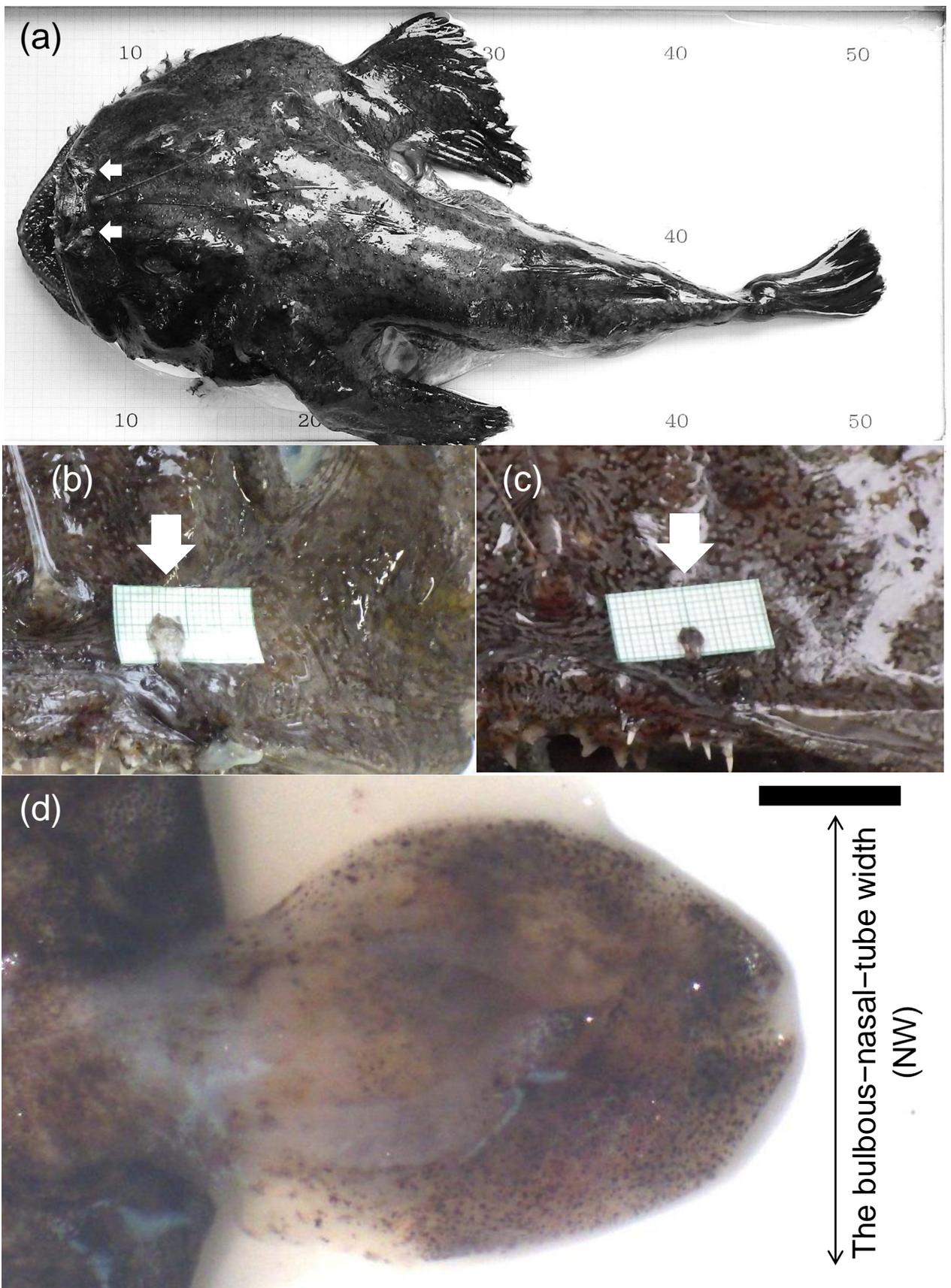


図4-2-1 (a)キアンコウ *Lophius litulon* の瘤状鼻管の位置, (b, c)1 mmメッシュ方眼紙上の426 mm TLの雄と452 mm TLの雌の瘤状鼻管, (d)瘤状鼻管幅の測定位置, スケールバーは1,000 μm を示す.

定,ともに $p<0.001$)。回帰式から推定される瘤状鼻管幅の海域間の差は,雄が太平洋に比べて津軽海峡で最大 19.5%,雌が日本海に比べて津軽海峡で最大 23.4%大型であった。比較した標本範囲内では雌雄ともに,全長に対する瘤状鼻管幅は常に,津軽海峡で相対的に大型であった(図 4-2-2)。

海域を込みにした雌雄別の回帰式は,以下のように推定された。

$$\text{雄: } OW=17.198 TL-2654.530 \quad (n=266, r^2=0.757, p<0.001)$$

$$\text{雌: } OW=7.131 TL-51.913 \quad (n=377, r^2=0.776, p<0.001)$$

得られた回帰式の傾きの間には有意差がみられ(F 検定, $p<0.001$),瘤状鼻管幅は全長が大型になるほど雌よりも雄の方が大きかった。

これらの回帰式の両側±20%の範囲で偽陰性が存在すると仮定した場合,雄回帰式の-20%下限値と雌回帰式の+20%上限値は,以下である。

$$\text{雄-20\%: } NW=13.758 TL-0.002$$

$$\text{雌+20\%: } NW=8.557 TL-0.623$$

ここで,全長に対する瘤状鼻管幅が雄回帰式の-20%以上を雄,雌回帰式の+20%以内を雌,両者の重複範囲若しくはいずれにも属さない範囲の個体を判別不能と仮定し(図 4-2-2),有効性を検証した(図 4-2-3)。正答率,誤答率,判別不能率は体長階級の増加によって有意に異なり(順序を考慮した比率の Kruskal-Wallis 検定: $KW=10.32, p=0.006$),大型になるにつれて正答率が高くなり,誤答率と性別不能の比率は低くなった。正答率は,356-399 mm TL で 77%とやや低かったものの,400-499 mm で 93.0%,500-899 mm で 94.9-96.0%, ≥ 900 mm で 100%を示し,誤答個体は 800 mm 以上の階級ではみられなかった。以上よりこの判別法は 400 mm TL 以上で 93%以上の正答率を示すほぼ実用的な性判別法であると考え

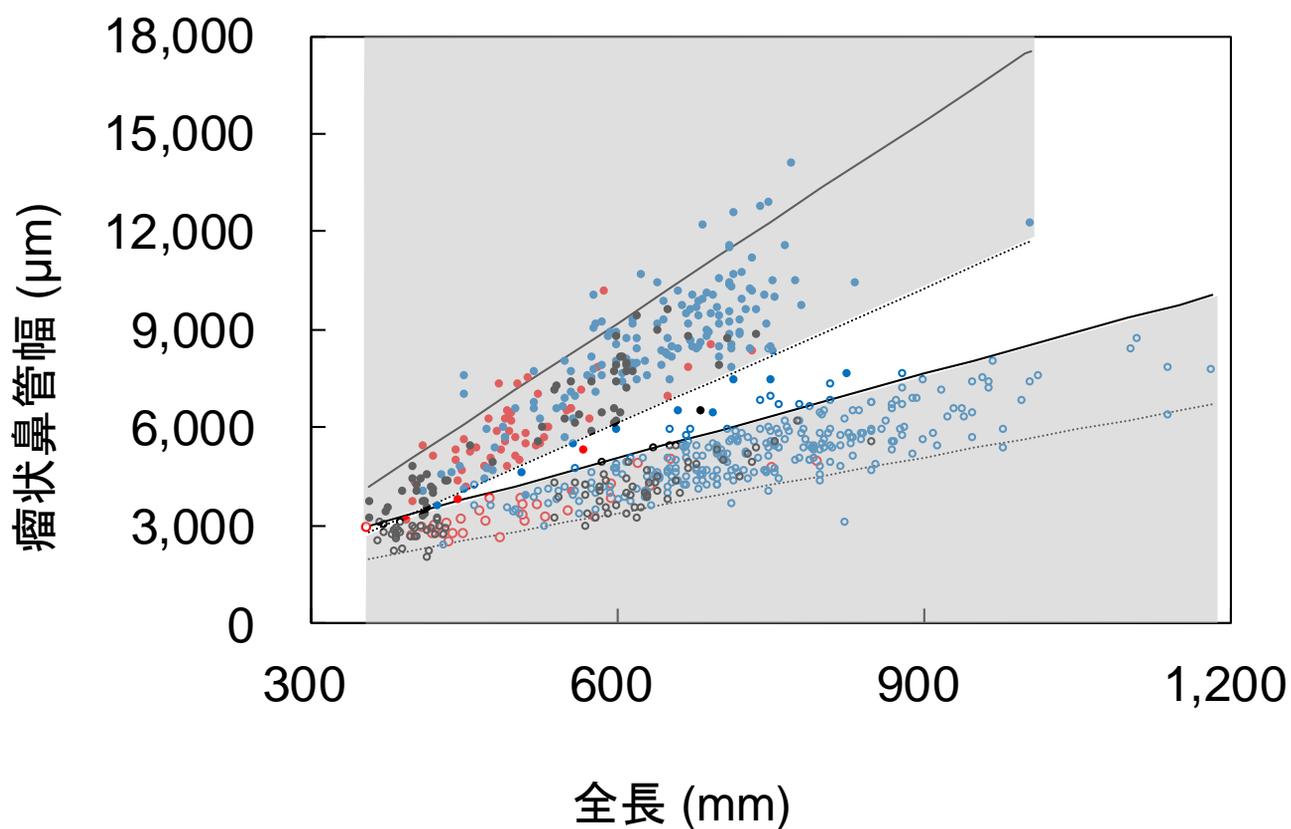


図4-2-2 キアンコウ *Lophius litulon* の全長と瘤状鼻管幅の関係。○印は雌，●印は雄，赤は日本海，青は津軽海峡，黒は太平洋を示す。下直線・破線はそれぞれ雌+20%・-20%回帰直線，上直線・破線はそれぞれ雄雌+20%・-20%回帰直線をそれぞれ示す。

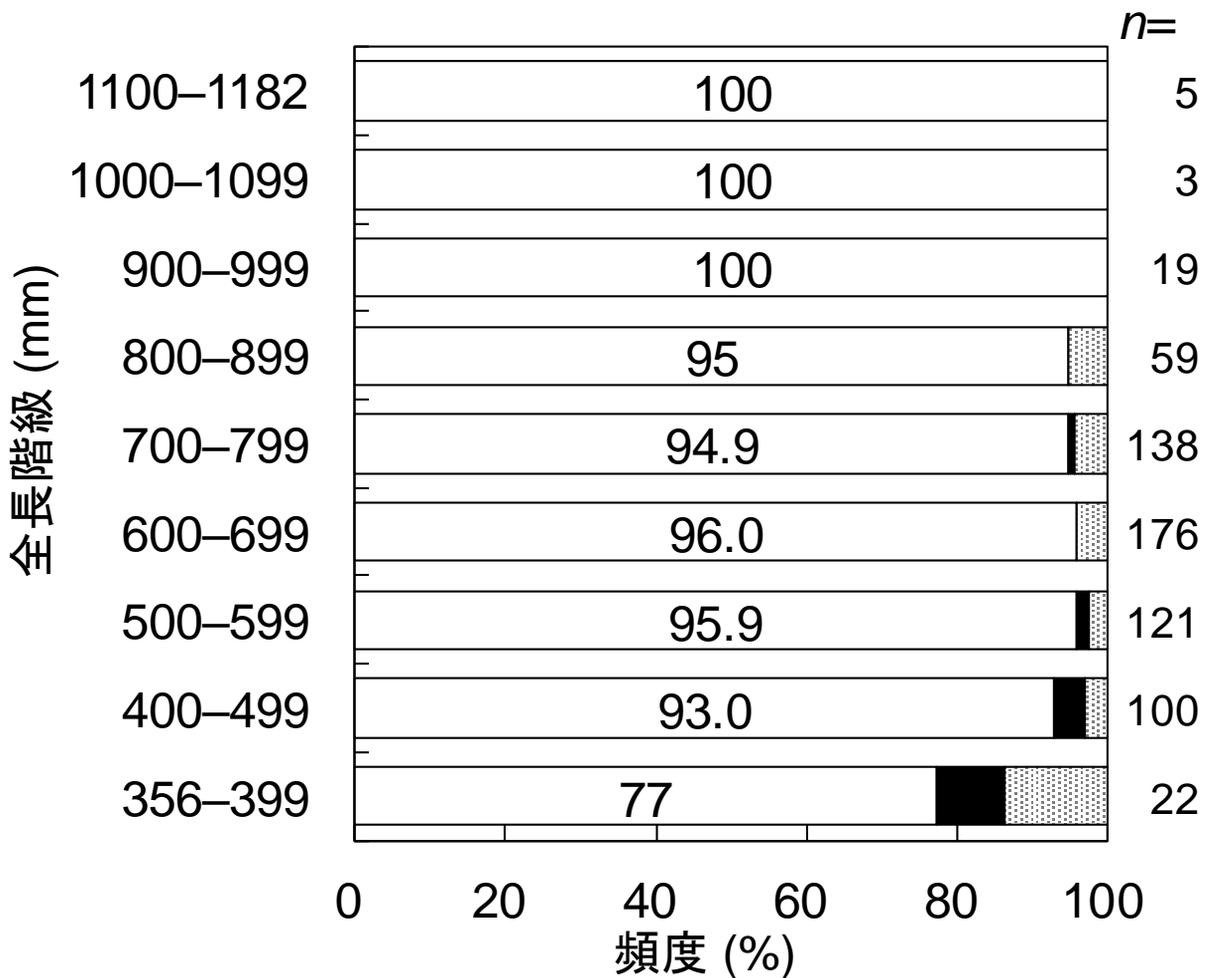


図4-2-3 キアンコウ *Lophius litulon* の瘤状鼻管幅による性判別結果. 白バーは正答率, 黒バーは誤答率, 灰色バーは判別不能率, nは標本数をそれぞれ示す.

られた。

一方、体長階級を区分せずに、海域別に回帰式の両側±20%の範囲で偽陰性が存在すると仮定した場合、海域間でこれらの比率に有意差はなく(G 検定; $G_{adj}=4.876$, $p=0.30$), 正答率は93.0–94.4%と高く, 判別不能率(2.3–4.9%)と誤答率(0.7–3.4%)は低かった。

4-2-4 考察

瘤状鼻管幅と全長の測定による性判別法は, 少なくとも青森県周辺では海域差を考慮しなくても400 mm TL以上で93%以上の正答率を示す, ほぼ実用的な性判別法であると考えられた。市場における全長の測定と背鰭第一棘による年齢査定(第4章1項)と, 本研究における瘤状鼻管幅を用いた性判別を併せて実施すれば, 試料魚を買い付け・解剖する必要はなく, 購入費用を節約して, 成長解析や Age-length key の作成, 資源解析に大量のデータを供することができ, 本種の迅速な資源管理の実施への貢献が期待される。

津軽海峡では小型いか釣りの集魚灯に向かって海面近くまで雌と考えられる大型のキアンコウ1個体が浮上して来た際に, 複数の雄と考えられる小型のキアンコウが追尾して来た様子が観察されている(下風呂漁業協同組合小型いか釣り漁業者私信)。また, 津軽海峡におけるキアンコウ刺網漁業では, 雌が羅網している箇所を囲む様に, 複数の雄が羅網している様子がよく観察される(蛇浦漁業協同組合沖刺網部会員私信)。水族館では, 雌が産卵するために海面近くに浮上した後に, 雄が追尾する様子が観察されている((公財)ふくしま海洋科学館・山内信弥, 松崎浩二, アクアワールド茨城県大洗水族館魚類展示課・芝洋二郎, 柴垣和弘私信)。従って雄

の大型の瘤状鼻管は、産卵行動等に伴って、フェロモンを発する雌を追尾するのに役立っているのかもしれない。ただし、キアンコウの瘤状鼻管の相対的な大きさに海域間で差がある原因は不明である。

4-3 成長・成熟解析

4-3-1 目的

本種の成長様式については、東シナ海において脊椎骨による年齢査定結果から成長が解析されており、1歳時の標準体長(Standard body length 以下 SLと表記)は雌雄それぞれ 9.2, 10.2 cm SL, 8歳時は雌雄それぞれ 45, 50 cm SL 以上である(Yoneda *et al.* 1997)。また、第4章1項にて、青森県周辺海域における本種の年齢査定法について、背鰭第一棘の横断面法による手法を確立した。しかし、この手法を用いた、雌雄別の成長式は未詳であり、成熟体長に関する報告も、東シナ海では雄で 32.5 cm TL, 雌で 54.6 cm TL(Yoneda *et al.* 2001)、日本海南西海域の山口県から九州北部沖合では雄で 33 cm TL, 雌で 63 cm TL(河野 2010b)、福島県沖合では雄で 35 cm BL, 雌で 55 cm BL(岩崎ら 2010)という報告があるが、青森県周辺海域における情報はない。本種資源の適正管理には、資源動向の把握だけではなく、成長や成熟体長等の生物学的特性を解明する必要がある。本研究では、青森県周辺海域に生息するキアンコウの年齢と成長・成熟の関係を明らかにすることを目的とした。

4-3-2 材料と方法

試料 キアンコウ標本は、2013年11月から2015年12月までの期間、青森県周辺海域日本海、津軽海峡、太平洋において、刺網漁業及び底建網漁業、沖合底曳き網漁業、並びに水産研究・教育機構東北区水産研究所漁業調査船・若鷹丸による

着底トロールおよび地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所調査船・青鵬丸による着底トロールによって得られた(図 3-1)。試料魚は凍結して研究室に持ち帰り、解凍後、全長(TL, mm)および体重(Bw, g), 内臓除去重量(EBw, g), 生殖腺重量(Gw, g), 肝臓重量(Lw, g)の測定, 並びに生殖腺の肉眼観察による性判別を行い, 年齢査定のために背鰭第一棘を採取した。年齢査定および成長解析には日本海 153 個体, 津軽海峡 423 個体, 太平洋 287 個体, 合計 863 個体(図 4-3-1), 成熟解析のうち生殖腺指数の解析には年齢査定および成長解析に用いた 863 個体を含む 1,192 個体, 生殖腺の観察にはそのうち 290 個体を用いた。

年齢査定 年齢査定は第 4 章 1 項の方法により行った。本海域では 6 月, 小型定置網等に孵化直前の卵帯が頻繁に入網することから, 6 月 1 日を年齢起算日に設定して年齢査定した。年齢は, 年齢起算日から標本採集日までの日数を小数点以下の数値を含む年齢に変換して用いた。

成長解析 成長式は, 海域別雌雄別に von Bertalanffy 式, Gompertz 式, Logistic 式のパラメーターを最尤推定して, 最小の AIC(赤池情報量基準)で成長式を選択した。これらの推定には, Microsoft Excel 2016 のソルバー機能を用いた。また, 事前に行った人工孵化試験の結果, 孵化直後の仔魚は約 3 mm TL であったことから, バイオロジカル・インターセプト法(Campana 1990)に基づき, 各式において年齢 0 歳が 3 mm TL を通る様に, ソルバー機能に含まれる制約条件にこの値を設定した。また, 海域別雌雄別に, 推定寿命 $A_{0.95}$ (Taylor 1958)と Growth

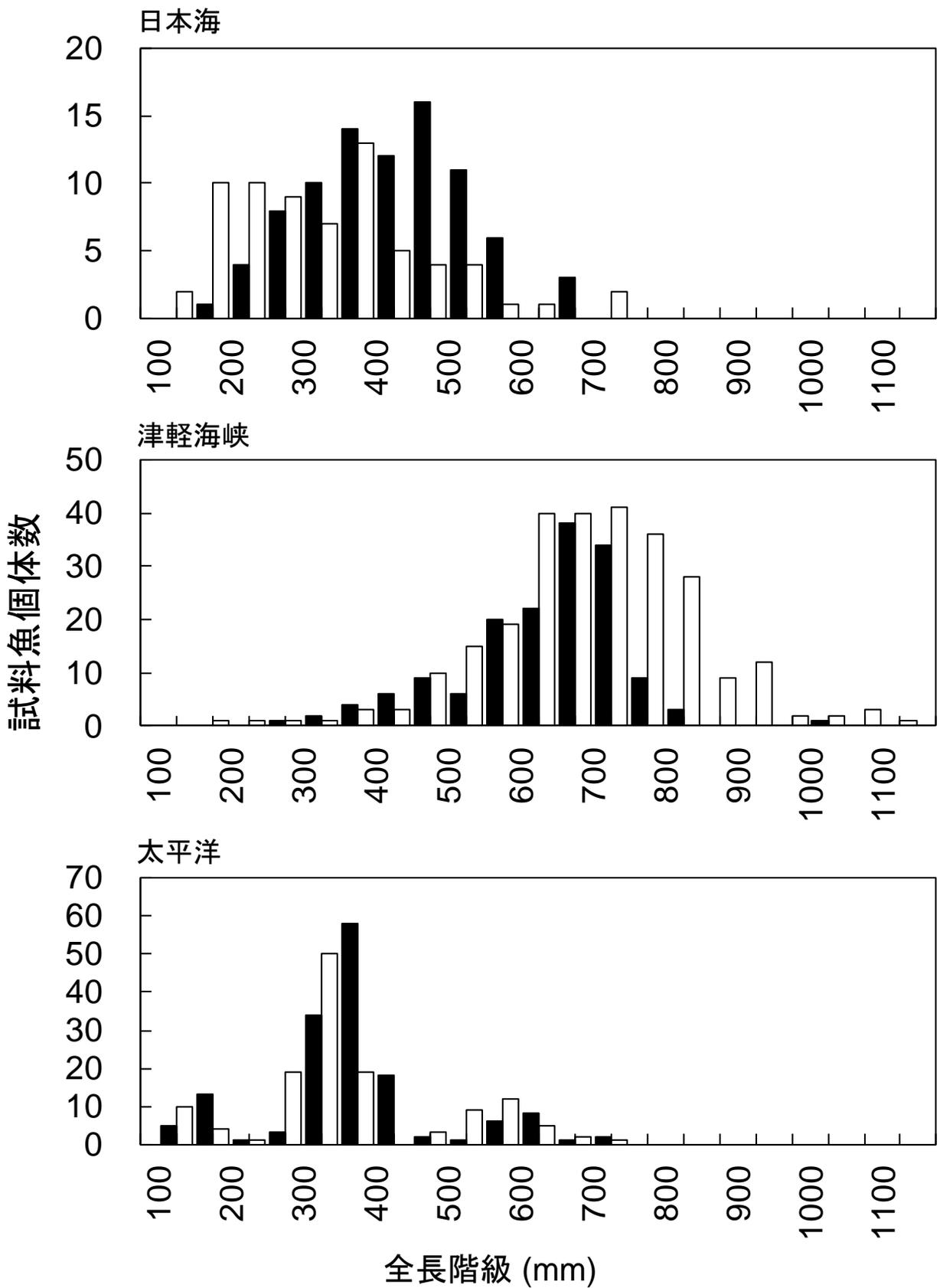


図4-3-1 成長解析に用いたキアコウ *Lophius litulon* 試料魚の全長組成. 白色のバーは雌, 黒色のバーは雄を示す.

Performance Index ϕ' (Pauly and Munro 1984)を次式により算出した。

$$\text{推定寿命 } A_{0.95} = t_0 + 2.996 / K$$

$$\text{Growth Performance Index } \phi' = \log K + 2 \log L_{\infty}$$

成熟解析 青森県周辺海域の産卵期と考えられる3-6月について、東シナ海における本種(Yoneda *et al.* 2002)や近縁種である Angler *Lophius piscatorius* (Bjelland *et al.* 2006)を参考に生殖腺の目視観察を行い、雌については吸水卵が認められるものを成熟、それ以外を未成熟、雄については生殖腺が透明若しくは半透明で薄い膜状のもので解剖しても精液が出ないものを未成熟、生殖腺がクリーム色で厚みがあり筒状で解剖すると精液が出てくるものを成熟として取り扱った(図 4-3-2)。50%成熟全長は、試料魚数が海域別雌雄別の解析には不十分であったことから、青森県周辺海域日本海・津軽海峡・太平洋をまとめて解析した。産卵期と推察される3-6月の全長階級(100 mm 毎)の成熟個体の割合(群成熟率 mTL(%))について、Microsoft Excel 2016 のソルバー機能を用いて、非線形最小二乗法により Logistic 曲線に近似させて算出した。また、50%成熟全長以上の個体について、海域別雌雄別に、生殖腺指数($GSI = Gw \times 100 / EBw$)を求め、性成熟度の季節変化等を解析した。

4-3-3 結果

成長解析 各成長式についてパラメーターを最尤推定して、それぞれ AIC を算出した(表 4-3-1)。雌雄ともに、von Bertalanffy の成長式の AIC が、最も低い値を

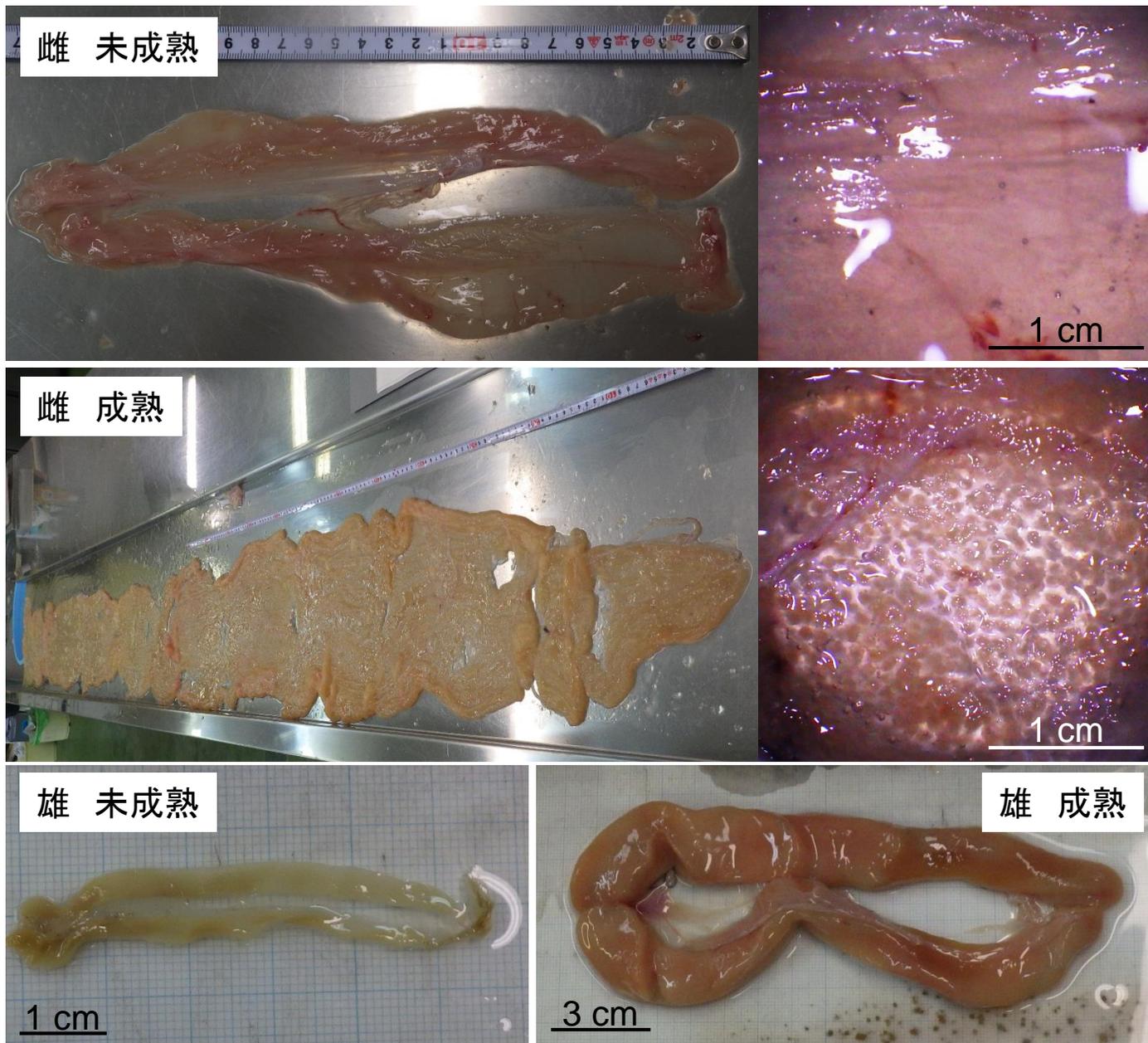


図4-3-2 キアンコウ *Lophius litulon* の生殖腺写真.

表4-3-1. 青森県周辺海域におけるキアンコウ *Lophius litulon* から推定された成長式の各パラメーターおよびAIC

雌 パラメーター	日本海			津軽海峡			太平洋		
	von Bertalanffy	Gompertz	Logistic	von Bertalanffy	Gompertz	Logistic	von Bertalanffy	Gompertz	Logistic
L_{∞}	741	5,360	1,105	904	1,365	908	705	3,796	908
K	0.281	0.202	1.050	0.255	0.140	1.023	0.273	0.121	1.023
t_0	-0.014	7.496	5.446	-0.013	1.965	5.418	-0.014	7.204	5.418
AIC	737	885	880	3,009	3,204	3,393	1,481	1,842	1,751

雄 パラメーター	日本海			津軽海峡			太平洋		
	von Bertalanffy	Gompertz	Logistic	von Bertalanffy	Gompertz	Logistic	von Bertalanffy	Gompertz	Logistic
L_{∞}	717	4,762	1,105	769	4,221	829	658	3,796	908
K	0.282	0.162	1.050	0.275	0.130	0.961	0.281	0.121	1.023
t_0	-0.015	7.384	5.446	-0.014	7.270	5.671	-0.015	7.204	5.418
AIC	920	1,147	1,126	1,705	2,179	2,009	1,666	2,056	1,981

示した。その式は、次のとおりである(図 4-3-3)。

日本海

$$\text{雌 } TL_t = 741(1 - e^{-0.281(t+0.014)}) \quad (r^2 = 0.711, n = 68, p < 0.001)$$

$$\text{雄 } TL_t = 717(1 - e^{-0.282(t+0.015)}) \quad (r^2 = 0.576, n = 85, p < 0.001)$$

津軽海峡

$$\text{雌 } TL_t = 904(1 - e^{-0.255(t+0.013)}) \quad (r^2 = 0.337, n = 268, p < 0.001)$$

$$\text{雄 } TL_t = 769(1 - e^{-0.275(t+0.014)}) \quad (r^2 = 0.241, n = 155, p < 0.001)$$

太平洋

$$\text{雌 } TL_t = 705(1 - e^{-0.273(t+0.014)}) \quad (r^2 = 0.531, n = 135, p < 0.001)$$

$$\text{雄 } TL_t = 658(1 - e^{-0.281(t+0.015)}) \quad (r^2 = 0.526, n = 152, p < 0.001)$$

成長の雌雄差は、日本海では 6 歳まで、津軽海峡では 1 歳、太平洋では 2 歳まで、2 cm TL 未満で大差なかった。最大年齢は、日本海で雌 8.9 歳、雄 11.9 歳、津軽海峡で雌 23.6 歳、雄 19.9 歳、太平洋で雌 8.9 歳、雄 12.9 歳であった。推定寿命(Taylor 1958)は、日本海で雌 10.7 歳、雄 10.6 歳、津軽海峡で雌 11.7 歳、雄 10.9 歳、太平洋で雌 10.9 歳、雄 10.6 歳であった。また、雌雄の成長差について、Growth Performance Index ϕ' (Pauly and Munro 1984)を比較した結果、日本海で雌 5.19、雄 5.16、津軽海峡で雌 5.32、雄 5.21、太平洋で雌 5.13、雄 5.09 と、いずれの海域でも雌の値がやや高かった。また、日本海・太平洋の雌よりも、津軽海峡の雄の値が高かった。

成熟解析 青森県周辺海域における本種の 50%成熟全長はそれぞれ、雌 549 mm TL、雄 300 mm TL であった(図 4-3-4)。50%成熟全長以上の個体につ

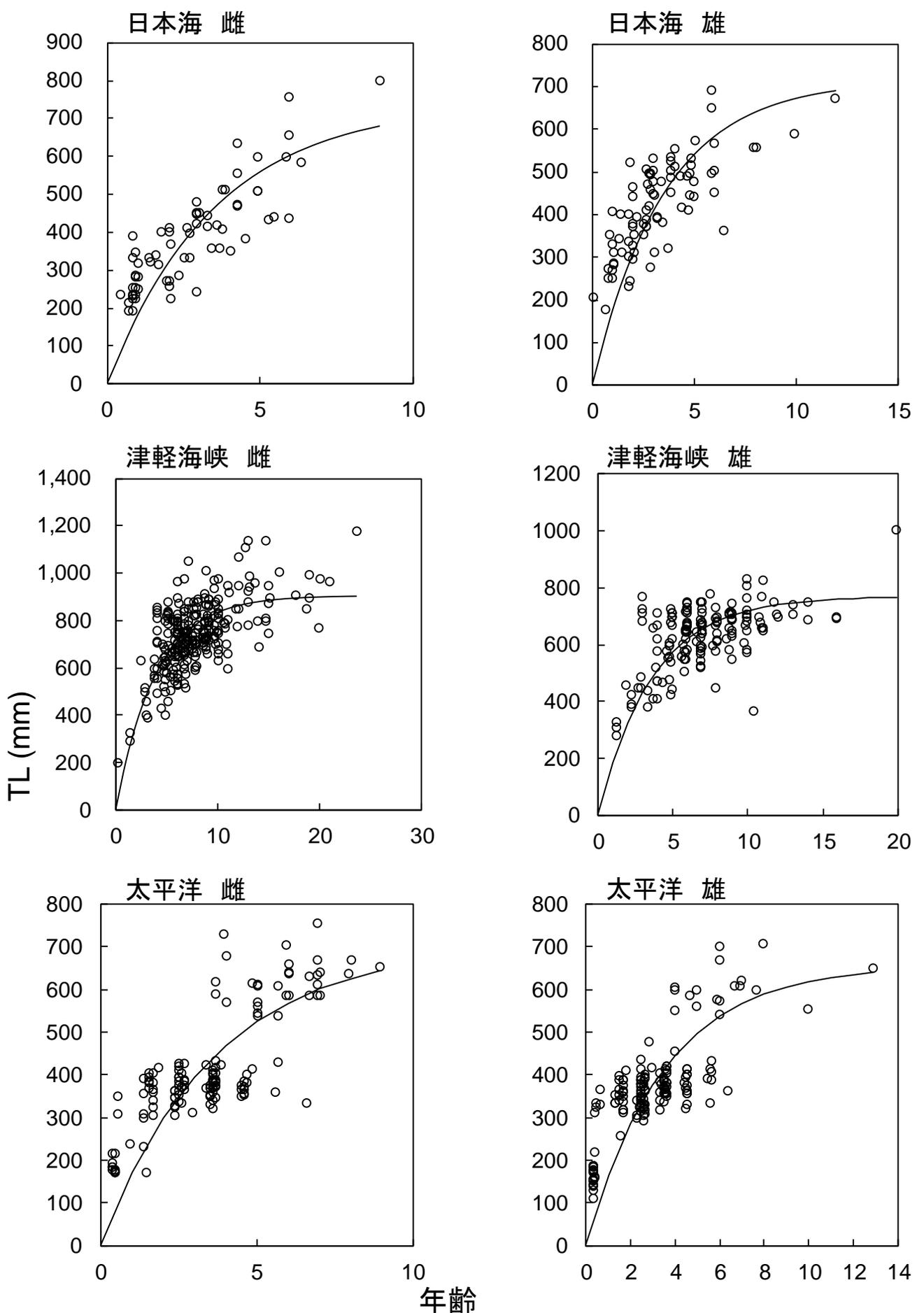


図4-3-3 キアンコウ *Lophius litulon* の海域別 von Bertalanffy 成長式.
 ○印はデータ, 実線は推定された von Bertalanffy 成長式を示す.

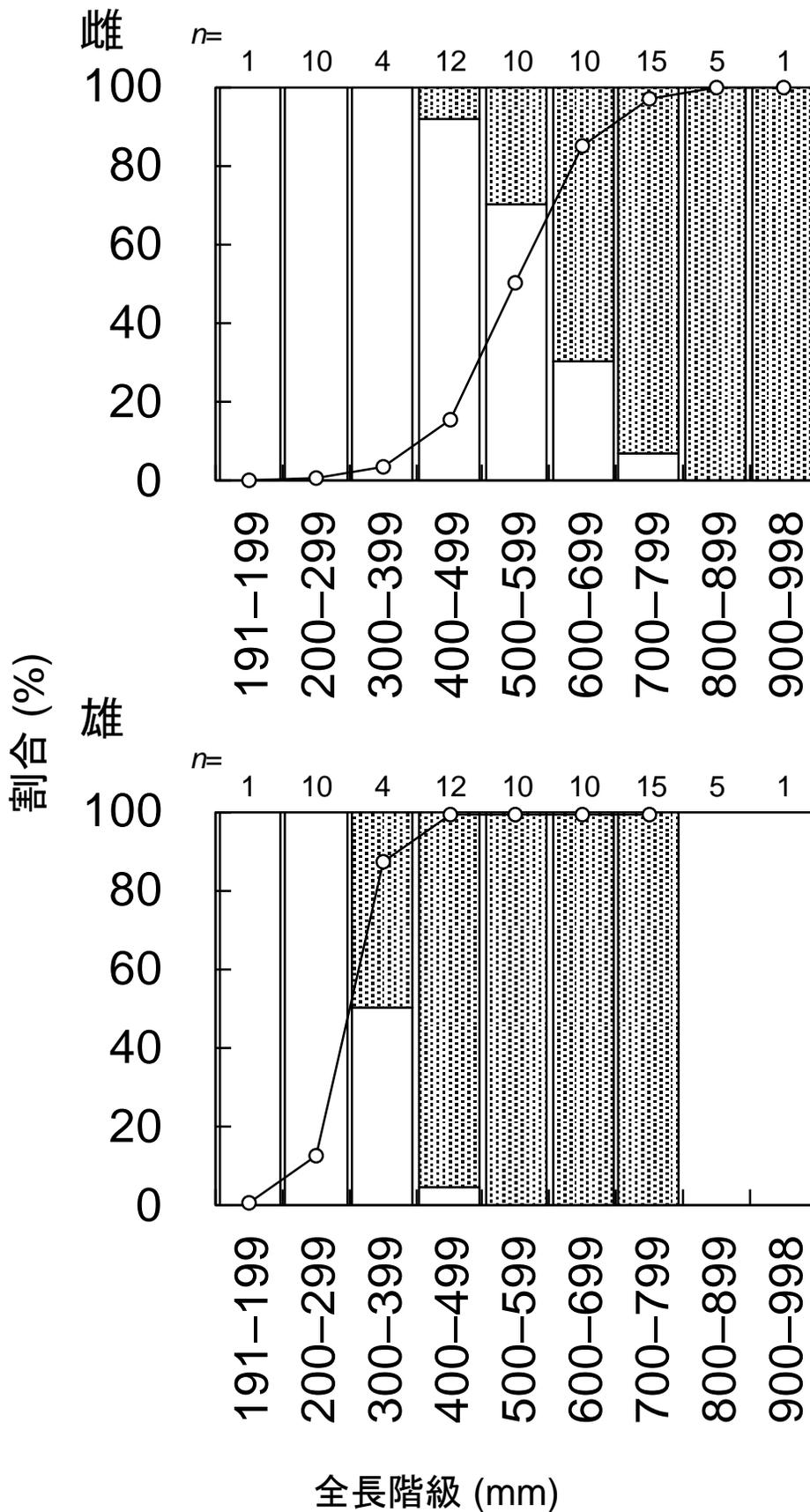


図4-3-4 産卵期(3-6月)における生殖腺の目視観察によるキアンコウ *Lophius litulon* の全長階級別海域群成熟率. 灰色のバーは成熟, 白色のバーは未成熟, 折れ線グラフは推定された Logistic 曲線を示す.

いて、海域別雌雄別に GSI の月変化を解析した(図 4-3-5)。

まず雌に関して、日本海では、50%成熟全長以上の個体が4月に1個体、5月に4個体、9月に2個体、10月に1個体が採集されたのみであった。これらのうち4月、9-10月の GSI 平均値は 1.33-1.70(範囲: 1.22-1.70)であったのに対して、5月には 13.19(範囲: 1.52-27.75)と顕著に高い個体がみられた。津軽海峡では、9-3月までの平均 GSI は 1.48-4.02(範囲: 0.85-10.54)であったが、4月に 7.46(範囲: 1.51-22.47)に上昇し、5-7月には 15.85-22.56(範囲: 1.08-67.88)とさらに上昇した。太平洋も日本海と同様に、50%成熟全長以上の個体が2月に5個体、5月に11個体、6月に14個体を採集したのみであった。2月の平均 GSI は 1.96(範囲: 1.37-2.73)であったが、5-6月には 6.74-7.53(範囲: 1.13-36.22)と顕著に高かった。

次に雄に関して、日本海では、9-3月までの平均 GSI は 0.31-0.85(範囲: 0.05-1.71)であったが、4-7月に 1.37-2.97(範囲: 0.21-23.21)と上昇した。津軽海峡では、極端に大型だった1個体(601 mm TL, 3,807 g Bw)は、GSI の月推移には含まなかった。12月を除いた9-2月までの平均 GSI は 0.52-2.61(範囲: 0.34-3.81)であったが、4-6月に 2.34-3.18(範囲: 0.67-15.91)と上昇した。太平洋では、10-2月までの平均 GSI は 0.54-1.58(範囲: 0.26-3.57)であったが、5-6月に 2.62-2.77(範囲: 0.81-4.40)と上昇した。

4-3-4 考察

背鰭第一棘横断面の縁辺における不透明帯の形成時期は、6月と11-12月であ

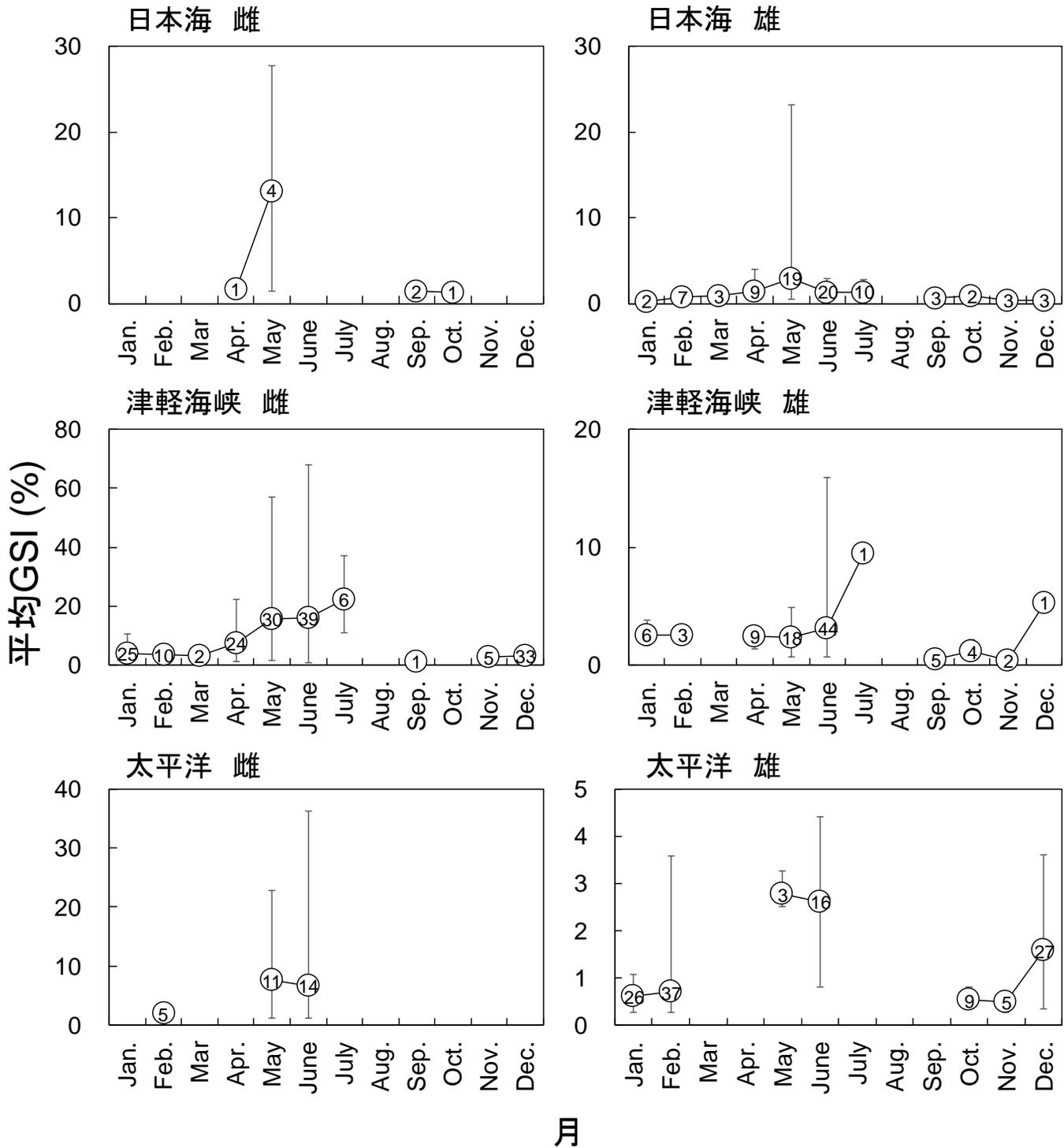


図4-3-5 キアンコウ *Lophius litulon* のGSIの月変化. エラーバーは最大-最小値, ラベルの値は試料魚数を示す.

った(第4章1項; 図4-1-5)。Peabody(1961)は、変温性脊椎動物の一部は、季節周期の影響で代謝・成長が阻害されることによって微細成長縞が形成されることを報告している。津軽海峡では、3月頃から約5°Cで最低水温を示し、その後水温は上昇する。6月頃には水温が12°Cに到達して、それに伴って雌雄ともにGSIが上昇、並びに雄ではHSIがピークに達し、産卵期を迎えて接岸して、沿岸の水深100m以浅に設置された定置網や刺網等で多く漁獲されることが考えられる。併せて、6月には、数m程度の大きさとなる本種の卵帯が沿岸の定置網や刺網等に多く入網し、この卵帯は水槽中で数日以内に仔魚が孵化することから、この時期が産卵期であると判断される。7-11月には水深100m以浅の沿岸ではほとんど漁獲されなくなる。12月になると、水温が12°Cを下回り、それに伴って沿岸の定置網や刺網等における漁獲が始まる。またこの12月に雌雄ともにGSI並びに雌ではHSIの肥大が始まる。従って、不透明帯の形成時期は、生殖腺の成熟とそれに伴う沿岸域への移動による水温環境の急激な変化と、冬期の生息水温の低下によって、5-6月の産卵期に続く2回目の不透明帯が形成されるものと推察される。

本研究で得られた最大年齢は、日本海で雌8.9歳、雄11.9歳、津軽海峡で雌23.6歳、雄19.9歳、太平洋で雌8.9歳、雄12.9歳であった。日本海と太平洋で高齢魚が採集できなかった一因は、両者の主たる漁業種類が底曳網漁業によると考えられた。津軽海峡の刺網・定置網漁業では、第2章2項で示したとおり、水深80-120mの海域から浅場に移動して来る個体を漁獲しており、その移動は産卵行動に起因すると考えられる。また、特に刺網漁業では目合によるサイズ選択性が存在して

おり、大型魚が漁獲されやすい条件であると考えられる。一方、日本海と太平洋の底曳網漁業においてキアコウを主たる対象魚種として操業することは稀で、本種の漁獲のほとんどは混獲によるものと推察される。また、日本海と太平洋における生息海域や移動経路は不明であり、津軽海峡とは異なり、東シナ海・黄海 (Yoneda *et al.* 2002)と同様に一定の海域を回遊していると仮定すれば、大型魚は操業場所とは別の海域で高密度に分布しているため、底曳網漁業では漁獲されづらいと考えられる。また、津軽海峡では底曳網漁業は行われていないが、他の 2 海域では行われているため、底曳網漁業の漁獲圧によって高年齢魚の資源量が低水準である可能性も否定できない。

推定寿命 (Taylor 1958) は、雌雄および海域問わず 10.6–11.7 歳であり、差はほとんどみられなかった。一方で、津軽海峡の最大年齢が雌 23.6 歳、雄 19.9 歳であり、推定された寿命よりも長かった。これは、各海域・雌雄とも成長の個体差が大きかったように (図 4-3-3)、実際の寿命にも個体差が大きいのかもかもしれない。また、Growth Performance Index ϕ' (Pauly and Munro 1984) は、日本海で雌 5.19、雄 5.16、津軽海峡で雌 5.32、雄 5.21、太平洋で雌 5.13、雄 5.09 と、いずれの海域でも雌の値が高く、雄よりも雌の成長が速かった。

茨城県 (堀 1993) および山形県 (大澤・鈴木 2009)、福島県 (岩崎ら 2010)、東シナ海 (Yoneda *et al.*, 1997) で報告されている成長と本研究における解析結果を、3 歳以下の範囲で同一図上にプロットした (図 4-3-6)。このうち茨城県および山形県、福島県については、漁獲物の体長組成から解析した結果であるため、雌雄不問であ

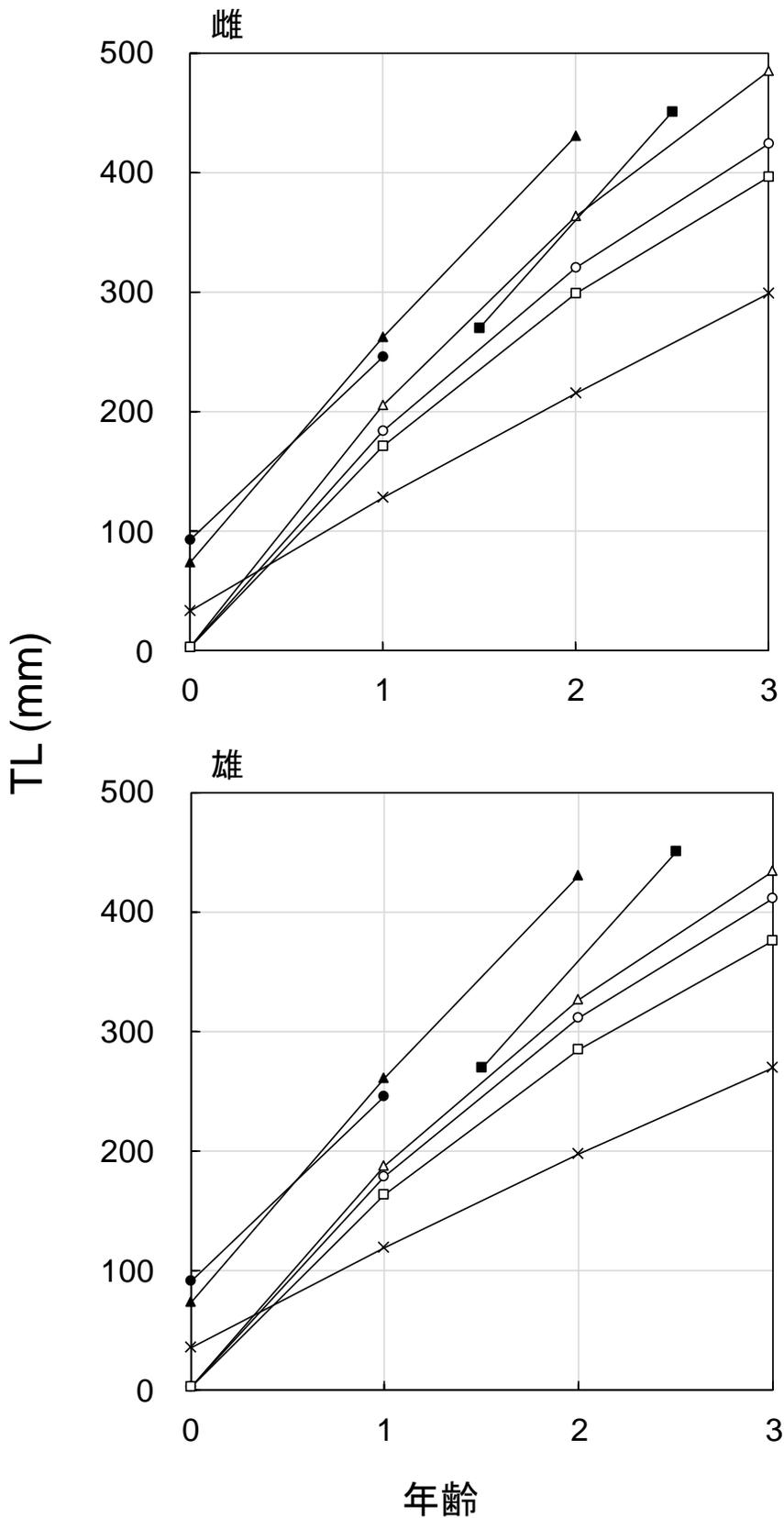


図4-3-6 キアンコウ *Lophius litulon* の成長。○印は青森県日本海，△印は同津軽海峡，□印は同太平洋，×印は東シナ海 (Yoneda *et al.*, 1997)，●印は福島県，▲印は山形県，■印は茨城県を示す。但し，福島県・山形県・茨城県は雌雄不問である。

る。なお、全長ではなく体長-年齢の関係が解析されている福島県については、同報告内で提示されている全長-体長の関係式を用いて全長-年齢の関係に換算した。山形県については、同海域における全長-体長の関係式が提示されていないことから、青森県周辺の日本海海域における全長-体長の関係式 $SL=0.772TL+3.212$ ($n=174$, $r^2=0.983$, $p<0.001$, 雌雄不問)を用いて全長-年齢の関係に換算した。また、年齢に対して最小値-最大値で示されているデータは、その中間値(準中央値)を用いてプロットした。0歳について、福島県では、7月頃に50-100 mm SLの個体が採集されるとされているが、産卵期は4-6月にわたると推察されており、この小型個体が孵化後どの程度の期間が経過しているかは不明である。しかし、青森県でも、7月頃に水深100 m以深におけるトロール調査で59-73 mm TLの稚魚が3個体採集されており(竹谷ら 2015a)、6月に孵化していると考えられることから、孵化直後5 mm TLの浮遊仔魚が、約1-3ヶ月で59-73 mm TLまで成長して着底していることは十分考えられる。また本研究の青森県周辺の3海域の成長式は、孵化時に3 mm TLを通るよう制約条件を付けて推定しているため、0歳時点での体長の比較に意味はない。つまり、ここでは1歳以上における青森県および福島県、山形県の体長差に注目する。

1歳の全長について、青森県日本海では雌184 mm TL, 雄179 mm TL, 同津軽海峡では雌206 mm TL, 雄187 mm TL, 同太平洋では雌171 mm TL, 雄163 mm TL, 福島県245 mm TL, 山形県243 mm TL, 東シナ海で雌128 mm TL, 雄120 mm TLであり、福島県、山形県が同程度に大型であり、それに青森県、

東シナ海が続いていた。なお、茨城県は 1.5 歳で 270 mm TL と、青森県津軽海峡と同程度であると考えられた。2 歳では山形県が 423 mm TL, は 2.5 歳で 450 mm TL で青森県津軽海峡では 2 歳で雌 363 mm TL, 雄 327 mm TL を示し、茨城県の雌雄込みが雌と同程度であるため、津軽海峡よりも雌は大型であり、青森県日本海では雌 320 mm TL, 雄 311 mm TL, 同太平洋では雌 299 mm TL, 雄 285 mm TL, 東シナ海で雌 216 mm TL, 雄 197 mm TL であった。以上から、福島県と山形県の成長が概ね一致しており、これらが最も速く、次いで茨城県が 2 歳以降やや高成長で、次いで青森県津軽海峡, 同日本海, 同太平洋, 最も遅いのは東シナ海と推察された。

近縁種である *Lophius americanus* (Armstrong *et al.* 1992), *Lophius piscatorius*, *Lophius budegassa* (Tsimenidis and Ondrias 1980) と、青森県と東シナ海における本種の成長を比較した(図 4-3-7)。いずれの海域においても、雄よりも雌の成長が速く、極限全長も大きかった。Growth Performance Index ϕ' で比較すると、雌は、*L. americanus* 5.37 が最も高く、青森県津軽海峡の本種 5.32 が続き、*L. piscatorius* 5.20, 青森県日本海の本種 5.19, 東シナ海の本種 5.19, 青森県太平洋の本種 5.13, *L. budegassa* 4.99 の順であった。雄は、*L. americanus* 5.32 が最も高く、青森県津軽海峡の本種 5.21 が続き、青森県日本海の本種 5.16, *L. piscatorius* 5.13, 青森県太平洋の本種 5.09, 東シナ海の本種 5.01, *L. budegassa* 4.84 の順であった。青森県周辺 3 海域ともに、5 歳までは *L. americanus* と同水準に成長が速かったが、それ以降は成長が停滞する傾向が

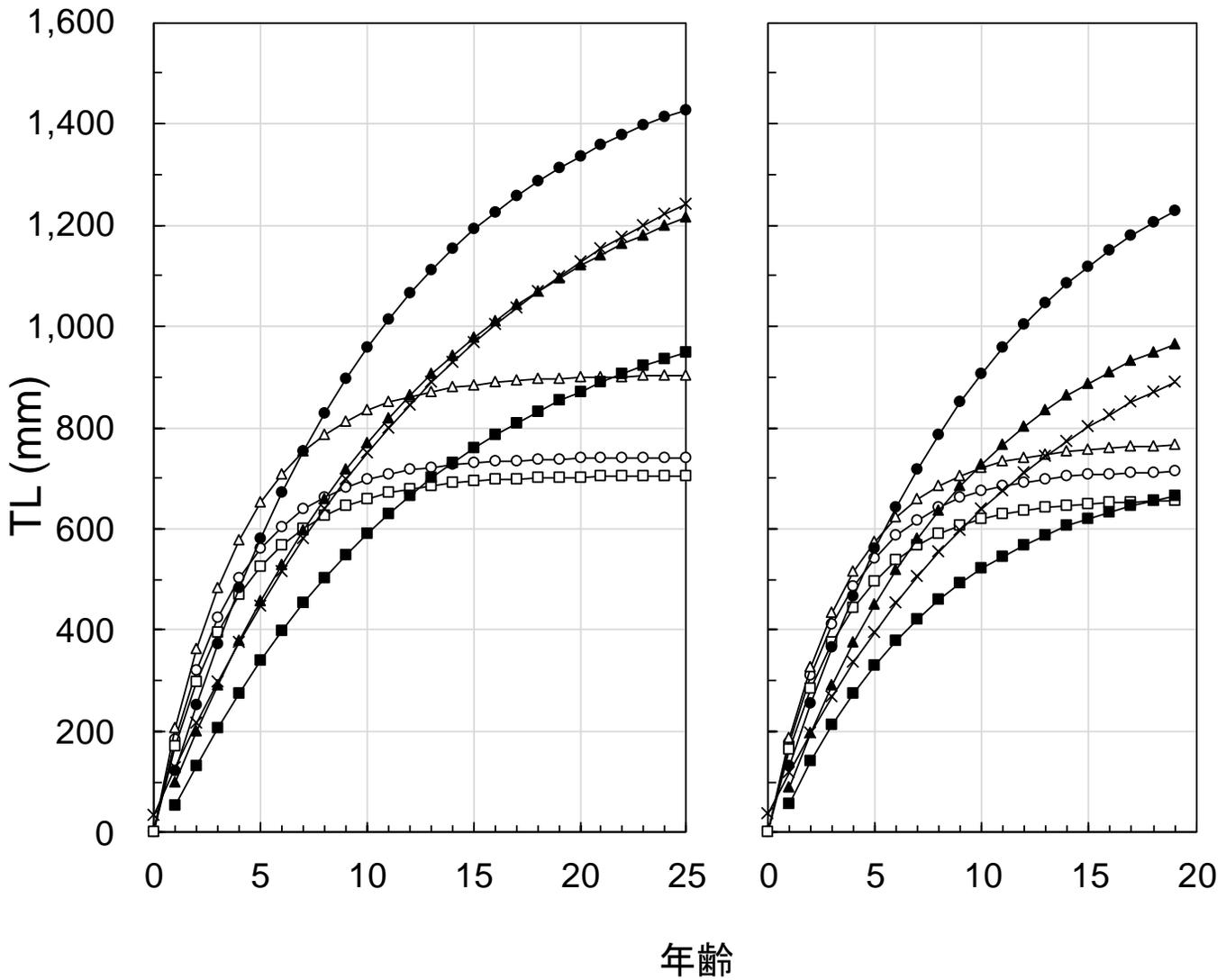


図4-3-7 キアンコウ属の成長. ○印は青森県日本海キアンコウ *Lophius litulon*, △印は同津軽海峡キアンコウ, □印は同太平洋キアンコウ, ×印は東シナ海キアンコウ (Yoneda et al., 1997), ●印は *Lophius americanus* (Armstrong et al, 1992), ▲印は *Lophius piscatorius* (Tsimenidis et al. 1980), ■印は *Lophius budegassa* (Tsimenidis et al. 1980)を示す.

認められた。

青森県周辺海域における 50%成熟全長はそれぞれ、雌 549 mm TL, 雄 300 mm TL であった(図 4-3-4)。なお、海域別の解析には、試料魚数が不十分であった。他海域における本種の成熟と比較すると、東シナ海における 50%成熟全長は雌が 54.6 cm TL, 雄が 32.5 cm TL(Yoneda *et al.* 2001), 日本海南西海域の山口県から九州北部沖合の成熟開始全長は、雌が 63 cm TL, 雄が 33 cm TL(河野, 2010b), 福島県沖合では雌が 55 cm BL, 雄で 35 cm BL(岩崎ら 2010)と報告されており、同報告内で提示されている全長-体長の関係式を用いて換算すると雌が 67 cm TL, 雄で 44 cm TL であった。従って雌では、青森県と東シナ海がほぼ同程度で、福島県沖合や山口県から九州北部では青森県よりも大型で成熟すると判断された。一方、雄では青森県と東シナ海, 日本海南西海域の山口県から九州北部沖合で海域間の差は小さく、福島県沖合では大型だった。しかし、これらの差を生じさせた要因は不明である。

本種の極限全長と 50%成熟全長について、青森県周辺海域と東シナ海を比較すると、雌の極限全長は青森県日本海 741 mm, 同津軽海峡 904 mm, 同太平洋 705 mm, 東シナ海 1,547 mm, 雄は青森県日本海 717 mm, 同津軽海峡 769 mm, 同太平洋 658 mm, 東シナ海 1,130 mm で、東シナ海と比較して青森県周辺海域の極限全長は小さかった。一方、50%成熟全長は両海域とも大きな差は無かったことから、青森県周辺海域よりも東シナ海の方が高齢になっても成長が阻害されない生息環境と考えられた。しかし、その成長差を生じさせる直接的な要因は現在のところ

未詳である。

GSI は雌雄ともに 9–11 月に低く、その後上昇し 7 月まで高かった。特に、雌における 5–6 月の GSI の上昇は顕著であり、8–9 月には GSI が低下していたことから青森県周辺海域での産卵期は 5–7 月と推定された。

第 5 章 津軽海峡東部における資源量推定と管理

5-1 目的

青森県におけるキアンコウ *Lophius litulon* の漁獲量は、2008 年漁期(2007 年 9 月から 2008 年 8 月末まで)の 958 トンをピークに、2014 年漁期 339 トン、2015 年漁期 298 トン、2016 年漁期 380 トンと減少している。我が国周辺水域における漁業資源では、水産庁及び水産研究・教育機構により 50 魚種 84 系群の資源評価結果に基づく生物学的許容漁獲量(Allowable Biological Catch: ABC)が計算されており(水産庁増殖推進部 2017)、青森県を含む太平洋北部の本種も対象とされているが、年齢形質を用いた成長解析等の報告がないため資源量の推定ができない資源として取り扱われている(柴田ら 2017)。

資源量推定手法の一つとして VPA(Virtual Population Analysis)が知られており、年齢別漁獲個体数から資源個体数と漁獲係数(以下 F と表記)を算出する資源計算手法で(Pope 1972)、日本近海の TAC 対象種等で広く用いられている(平松 2001; 谷津 2000)。本項では、2006 年漁期から一部漁業協同組合で銘柄別漁獲量データが整備されており、第 2 章で示したとおりの大きな水平移動が少なく一定の閉鎖系で個体群が完結しており、且つ本種の重要な産卵場の一つと考えられている津軽海峡東部海域において、第 4 章 1 項の背鰭第一棘を用いた年齢査定手法と同章 2 項の成長式を用いて VPA により本種の資源量を推定した。また、水産庁及び水産研究・教育機構による我が国周辺水域の漁業資源評価と同様の手法を用いて、長期的に持続可能な最大生産量(以下 MSY と表記)を実現できる水準に資源を維持・回復させるための管理方策について検証した。

5-2 材料と方法

体重階級別雌雄別年齢比率 体重階級別雌雄別年齢比率 (Age-weight Key, 以下 AWK と表記) の作成には, 2013 年 11 月–2016 年 6 月に青森県周辺津軽海峡海域で漁獲されたキアンコウ 422 個体 (雌 267 個体, 291–1,182 mm TL; 雄 155 個体, 282–1,005 mm TL) を用いた。試料魚は全長を測定して, 生殖腺観察により雌雄を判別した。年齢査定は, 第 4 章 1 項で示した背鰭第一棘を使用する手法で行った。AWK は, 雌雄別に銘柄ごとの体重階級 (<3 kg: ピン, 3–5 kg: 小, 雌 5–10 kg: 中, 雄 \geq 5 kg: 中+, 雌 \geq 10 kg: 大) を設定して, 体重階級ごとの年齢出現比とした。

年齢別雌雄別漁獲個体数の推定 2008–2016 年漁期の漁獲量データは, 各漁協から聴き取りした。年齢別漁獲個体数の推定の手順は, まず標本採集漁協の銘柄別漁獲量 (大間漁協・蛇浦漁協・易国間漁協・大畑町漁協) を津軽海峡東部海域 (佐井村漁協–岩屋漁協) の漁獲量比率に引き延ばして, 本海域の銘柄別漁獲量を算出した。次に, 標本の銘柄別平均体重で除して個体数換算し, これを標本の銘柄別雌雄比で分解して銘柄別雌雄別漁獲個体数を算出した。続いて, これを AWK で配分して, 本海域における年齢別雌雄別漁獲個体数を算出した。また, 性成熟は, 第 4 章 2 項で示した 50% 成熟全長に満たない年齢階級 (雌: 3 歳以下, 雄: 1 歳以下) を未成年魚, それ以外を成魚 (雌は産卵親魚, 以下 SSB と表記; 1 トン) と仮定して取り扱った。

年齢別雌雄別資源個体数の推定 得られた年齢別雌雄別漁獲個体数を用いて VPA (平松 2001) により, 2008–2016 年漁期各年の年齢別雌雄別資源個体数を推

定した。年齢階級は雌 20 歳以上, 雄 15 歳以上をそれぞれ最高年齢階級として雌 20+ 歳グループ, 雄 15+歳グループにまとめて解析した。 y 年 a 歳の資源個体数(以下 $N_{a,y}$ と表記)は, 2008–2016 年漁期の最高年齢階級以外は以下の Pope の近似式(1), 2008–2016 年漁期の最高年齢階級および 2016 年漁期の各年齢は式(2)を用いて算出した。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} e^M + C_{a,y} e^{M/2} \dots \dots (1), N_{a,y} = C_{a,y} e^{M/2} / (1 - e^{-F_{a,y}}) \dots \dots (2)$$

$C_{a,y}$ は y 年 a 歳の漁獲個体数, M は自然死亡係数, $F_{a,y}$ は y 年 a 歳の F を示す。なお, F は, 最高年齢 A 歳と $A-1$ 歳の値が同じと仮定して, 式(3)を用いて算出した。

$$F_{a,y} = \ln (N_{a,y} / N_{a+1,y+1}) - M \dots (3)$$

自然死亡係数 M は田中(1960)の式より 2008–2016 年漁期の最高年齢(雌: 23 歳, 雄: 19 歳)から雌: 0.106, 雄: 0.126 とし, F は 2013–2016 年漁期における同一年齢の平均値と仮定し, これらの仮定を達成する 2016 年漁期最高年齢の F を Microsoft Excel のソルバーを用いて探索的に求めた。資源重量は, 産卵–孵化月がみられる 6 月に一斉に漁獲されると仮定し, その時を満年齢として(1 歳, 2 歳, 3 歳…)の体重を第 4 章 2 項で示した津軽海峡における von Bertalanffy 成長式から推定して, 年齢別雌雄別漁獲個体数に乗じて求めた。

再生産成功率 加入量(以下 R と表記)は, 翌年 1 歳魚の資源個体数とした。 SSB に対する R の比を再生産成功率(以下 RPS と表記)とした。

資源管理基準の検討 ABC 算定規則漁獲制御ルール 1–1(水産庁増殖推進部 2017)に則り, 資源の乱獲を避けるための F の上限値(以下 F_{limit} と表記)及び確実な資源の維持・回復を期待する場合の目標となる F (以下 F_{target} と表記)を算出した。また, F について, (1)2016 年漁期並に對して, 資源管理方策として, 第 2 章の結果

から大きく水平移動しないことと第 4 章 2 項の結果から成長が速いことに着目した小型魚の再放流は、風間浦村における 2 kg 未満個体の再放流の実績もあることから漁業者の合意を得やすいと考え、主たる漁獲対象である 5–10 kg 階級の中(2016 年漁期平均単価 1,268 円/kg)よりも、比較的商品価値の低いピン(2016 年漁期平均単価 422 円/kg)・小(2016 年漁期平均単価 942 円/kg)に相当する 5 kg 未満個体の再放流という手法を併せて、(2)5 kg 未満の個体を放流(雌 6 歳未満, 雄 10 歳未満の F を 0 と仮定)且つ 5 kg 以上の個体の F は 2016 年漁期並, (3)5 kg 未満の個体を放流且つ 5 kg 以上の個体の F は 2016 年漁期並から 2 割削減, (4)5 kg 未満の個体を放流且つ 5 kg 以上の個体の F は 2016 年漁期並から 5 割削減という管理基準を設定して, RPS は 2016 年漁期 0.087 のまま推移すると仮定し, 2017–2050 年漁期の資源個体数と漁獲量の推移を推定した。

5-3 結果

AWK と漁獲個体数の推移 得られたキアコウの AWK を, 表 5-1 に示す。雌では, 体重階級・ピンのモードは 3 歳, 小のモードは 4 歳, 中のモードは 5 歳, 大のモードは 8 歳であった。雄では, 体重階級・ピンのモードは 3 歳, 小のモードは 4–5 歳, 中+のモードは 9 歳であった。推定された雌雄別の漁獲個体数を, 表 5-2 に示す。2006 年漁期は雌 25,296 個体, 雄 13,643 個体であったが, 2009 年漁期に雌 36,857 個体, 21,738 個体まで上昇したのをピークに, 2016 年漁期は雌 12,223 個体, 雄 7,835 個体と大きく減少した。

資源個体数と F , 資源量の推移 VPA により, 資源個体数と F の推移を推定した(表 5-3, 図 5-1)。雌の資源個体数は, 2006 年漁期 308,948 個体から, 2011 年漁

表5-1. 青森県津軽海峡海域におけるキアンコウ *Lophius lutulon* の体重階級別雌雄別年齢比率 (Age-weight Key)

(1)雌

体重階級	年齢																				n
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20+	
ピン	0.36	0.09	0.45	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11
小	0.03	0.11	0.28	0.31	0.19	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36
中	0.00	0.01	0.09	0.15	0.24	0.14	0.14	0.11	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	138
大	0.00	0.00	0.04	0.10	0.12	0.13	0.16	0.18	0.06	0.03	0.06	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	68

(2)雄

体重階級	年齢															n
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15+	
ピン	0.15	0.10	0.29	0.15	0.12	0.05	0.07	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41
小	0.00	0.04	0.06	0.18	0.18	0.15	0.14	0.14	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	79
中+	0.00	0.06	0.06	0.06	0.16	0.13	0.03	0.09	0.19	0.09	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	32

表5-2. 青森県津軽海峡海域におけるキアンコウ *Lophius lutulon* の推定漁獲個体数

(1)雌

年齢	漁期年										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	237	227	310	422	310	295	342	255	118	204	186
2	592	567	774	1,056	775	738	856	638	296	510	466
3	641	647	790	1,022	766	673	726	584	280	396	369
4	3,047	3,132	3,614	4,830	3,568	3,066	3,284	2,709	1,348	1,773	1,697
5	3,860	4,065	4,375	5,963	4,357	3,630	3,815	3,266	1,689	2,012	1,983
6	4,381	4,695	4,737	6,676	4,814	3,850	3,958	3,544	1,924	2,013	2,067
7	2,963	3,262	3,172	4,257	3,094	2,496	2,534	2,287	1,217	1,294	1,320
8	2,720	3,023	2,764	3,982	2,815	2,207	2,244	2,088	1,176	1,141	1,218
9	2,509	2,907	2,566	3,297	2,379	1,958	1,984	1,814	954	1,056	1,082
10	1,294	1,459	1,353	1,790	1,295	1,051	1,067	970	516	554	568
11	270	309	271	370	263	211	214	199	109	112	118
12	811	992	839	897	672	600	604	537	250	343	331
13	486	582	498	581	426	366	370	334	165	205	203
14	567	668	577	713	517	433	438	399	205	238	241
15	108	137	113	106	82	78	78	68	28	46	43
16	108	137	113	106	82	78	78	68	28	46	43
17	108	137	113	106	82	78	78	68	28	46	43
18	297	359	306	343	254	222	224	201	97	125	123
19	189	223	192	238	172	144	146	133	68	79	80
20+	108	137	113	106	82	78	78	68	28	46	43
Total	25,296	27,664	27,592	36,857	26,805	22,253	23,118	20,230	10,524	12,239	12,223

(2)雄

年齢	漁期年										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	442	423	577	787	578	550	638	476	220	380	347
2	662	634	866	1,181	867	825	957	714	331	570	521
3	818	817	1,014	1,353	1,002	896	989	782	376	555	519
4	1,872	1,839	2,380	3,174	2,351	2,162	2,432	1,873	881	1,399	1,290
5	1,978	2,001	2,469	3,106	2,355	2,076	2,224	1,785	839	1,207	1,114
6	2,049	2,089	2,501	3,202	2,411	2,088	2,217	1,812	873	1,186	1,111
7	1,487	1,531	1,797	2,267	1,717	1,461	1,521	1,268	614	792	746
8	1,330	1,354	1,658	2,047	1,564	1,367	1,445	1,171	547	771	710
9	1,341	1,378	1,632	2,046	1,554	1,329	1,387	1,149	552	726	679
10	814	848	923	1,277	934	765	797	690	362	411	409
11	352	371	389	540	395	314	319	285	153	158	161
12	85	88	106	124	97	82	83	70	32	42	38
13	146	153	165	221	164	132	134	118	62	67	66
14	146	153	165	221	164	132	134	118	62	67	66
15+	121	129	118	195	134	99	102	97	60	49	56
Total	13,643	13,809	16,761	21,738	16,286	14,278	15,381	12,408	5,963	8,380	7,835

表5-3. 青森県津軽海峡海域におけるキアンコウ *Lophius lutulon* の推定資源個体数

(1)雌

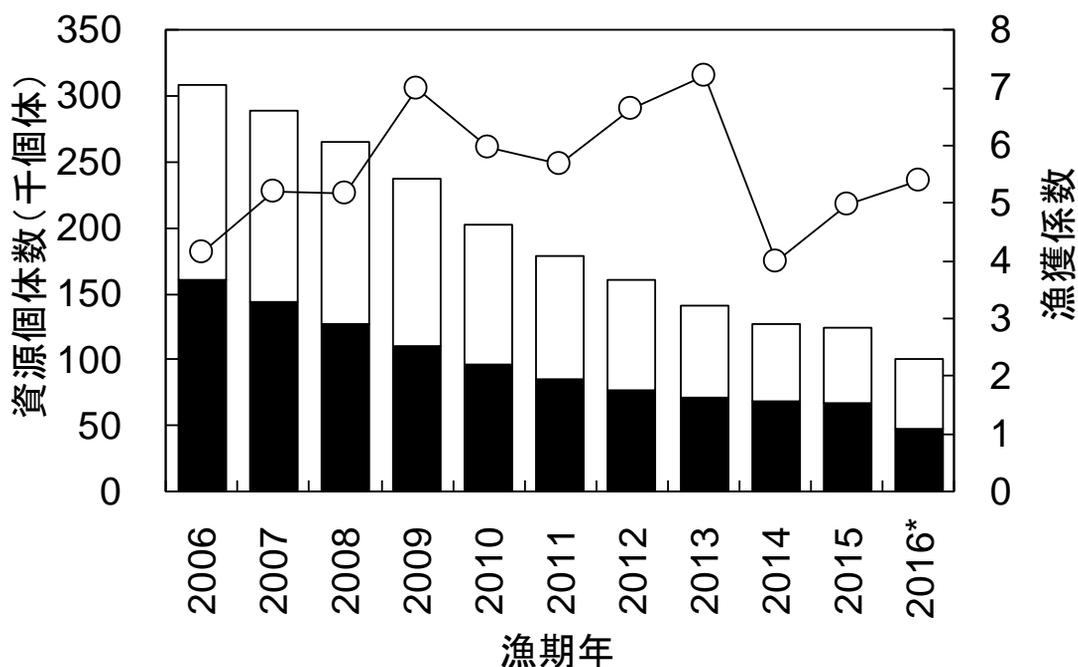
年齢	漁期年										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	39,852	35,727	30,762	26,132	23,371	22,125	20,409	19,208	19,961	19,357	*
1	40,604	35,847	32,136	27,670	23,505	21,022	19,901	18,357	17,278	17,955	17,412
2	40,974	36,298	32,028	28,612	24,488	20,848	18,629	17,576	16,270	15,429	15,957
3	38,784	36,294	32,112	28,075	24,735	21,291	18,053	15,945	15,204	14,354	13,395
4	34,273	34,278	32,031	28,135	24,283	21,522	18,513	15,550	13,788	13,410	12,536
5	29,296	27,939	27,862	25,385	20,727	18,459	16,450	13,538	11,418	11,124	10,380
6	23,093	22,691	21,276	20,913	17,178	14,511	13,160	11,178	9,079	8,668	8,098
7	16,956	16,617	15,957	14,644	12,479	10,886	9,400	8,084	6,694	6,342	5,888
8	12,428	12,442	11,853	11,345	9,135	8,290	7,425	6,052	5,103	4,867	4,477
9	8,686	8,599	8,324	8,040	6,429	5,547	5,364	4,551	3,464	3,475	3,295
10	5,655	5,434	4,978	5,054	4,105	3,526	3,133	2,943	2,372	2,211	2,124
11	4,449	3,860	3,504	3,195	2,848	2,464	2,175	1,806	1,727	1,645	1,463
12	3,640	3,746	3,179	2,895	2,523	2,313	2,016	1,753	1,436	1,451	1,373
13	2,661	2,504	2,428	2,064	1,753	1,632	1,512	1,241	1,068	1,055	979
14	2,012	1,932	1,700	1,712	1,306	1,172	1,121	1,009	799	804	755
15	1,490	1,272	1,104	982	864	685	644	592	528	524	498
16	1,288	1,237	1,014	886	783	699	542	505	469	449	428
17	1,060	1,056	983	805	696	627	555	414	390	395	360
18	884	850	820	777	624	549	490	426	308	324	311
19	549	513	424	448	373	320	283	228	192	185	173
20+	315	315	250	199	177	172	151	116	79	108	92
Total	308,948	289,450	264,728	237,964	202,383	178,661	159,926	141,073	127,628	124,131	99,993

(2)雄

年齢	漁期年										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	28,679	26,151	22,995	19,786	17,906	16,953	16,163	15,094	15,499	15,188	*
1	27,977	25,293	23,064	20,280	17,450	15,792	14,952	14,255	13,312	13,669	13,395
2	26,764	24,260	21,910	19,799	17,147	14,847	13,411	12,587	12,125	11,533	11,699
3	24,518	22,983	20,800	18,510	16,353	14,309	12,319	10,929	10,431	10,383	9,636
4	21,223	20,855	19,502	17,393	15,054	13,481	11,778	9,936	8,904	8,846	8,636
5	17,194	16,959	16,665	14,964	12,359	11,069	9,860	8,103	7,004	7,025	6,488
6	13,593	13,307	13,078	12,379	10,281	8,688	7,812	6,607	5,470	5,390	5,063
7	10,207	10,064	9,773	9,185	7,911	6,803	5,702	4,808	4,125	4,005	3,640
8	7,245	7,605	7,438	6,932	5,972	5,364	4,628	3,600	3,050	3,062	2,788
9	4,962	5,141	5,436	5,003	4,191	3,798	3,447	2,724	2,076	2,176	1,976
10	3,221	3,117	3,240	3,261	2,491	2,237	2,102	1,737	1,323	1,312	1,238
11	2,212	2,076	1,953	1,991	1,678	1,320	1,255	1,105	885	827	771
12	1,829	1,620	1,482	1,357	1,249	1,109	870	807	707	636	581
13	1,451	1,533	1,346	1,208	1,081	1,011	901	689	647	593	522
14	1,251	1,143	1,208	1,032	858	800	767	669	497	512	460
15+	1,037	966	864	911	702	603	581	551	479	380	389
Total	193,363	183,073	170,756	153,991	132,682	118,184	106,548	94,201	86,533	85,539	67,283

*: 直近年の当歳魚は推定していない。

(1)雌



(2)雄

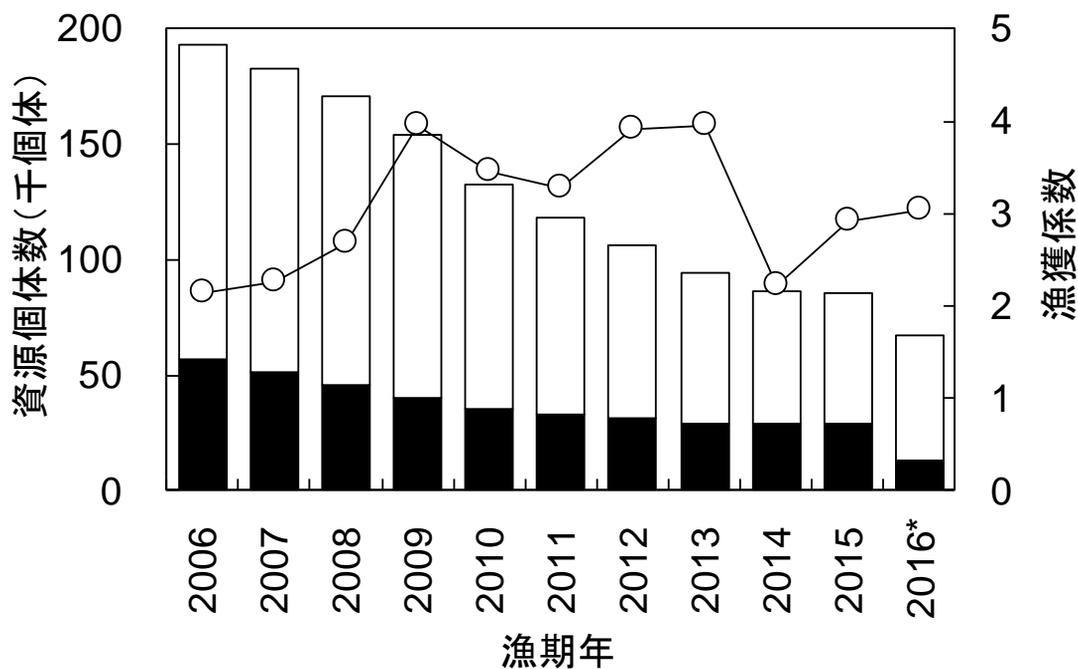


図5-1 VPAにより推定された青森県津軽海峡海域におけるキアンコウ *Lophius litulon* の資源個体数と漁獲係数の推移. 白いバーは成魚(50%成熟全長以上), 黒いバーは未成年, 折れ線は漁獲係数を示す. 但し, 2016年の0歳魚は翌年1歳魚の漁獲データがなく推定できないため欠けている.

期は 178,661 個体, 2015 年漁期は 124,131 個体, 2016 年漁期は 99,993 個体(但し当歳魚個体数は推定していない)と減少していた。未成魚が示す割合は, 46–54%と安定していた。雄の資源個体数は, 2006 年漁期の 193,363 個体から, 2011 年漁期は 118,184 個体, 2015 年漁期は 85,539 個体, 2016 年漁期は 67,283 個体(但し当歳魚個体数は推定していない)へと減少していたが, この間の未成魚が示す割合は 20–34%と安定していた。 F は, 2006 年漁期は雌 4.14, 雄 2.14 であったが, 徐々に上昇し, 2013 年漁期がピークで雌 7.23, 雄 3.95 であった。2014 年漁期は雌 3.98, 雄 2.23 と大きく減少した。翌 2015 年漁期は雌 4.97, 雄 2.92, 2016 年漁期は雌 5.39, 雄 3.03 と再び上昇した。また, 推定資源量(以下 B と表記; 1 トン)の推移を表 5–4 に示した。2006 年は合計 1,384 トン(雌 1,034 トン, 雄 350 トン)から 2011 年は合計 864 トン(雌 636 トン, 雄 228 トン), 2016 年は合計 504 トン(雌 370 トン, 雄 134 トン)へと減少していた。

SSB と RPS , R VPA により推定された RPS と推定加入個体数を表 5–5 に, SSB と RPS の推移を図 5–2 に示す。 SSB は 2006 年漁期の 930 トンから減少を続け, 2016 年漁期は 332 トンであった。 RPS は 2006–2012 年漁期に渡って 0.051–0.066 で推移していたが, 2013 年漁期 0.070, 2014–2015 年漁期 0.086 と上昇した。推定加入個体数は 2006 年漁期の 61,140 個体から減少を続け, 2016 年漁期は 30,807 個体であった。 SSB と R の関係を図 5–3 に示す。2006–2009 年漁期と 2010–2013 年漁期における SSB と R の関係は, それぞれ下記の一次式に回帰した。

$$(2006–2009 \text{ 年漁期}) \quad R = 0.146SSB - 75.333 \quad (r^2 = 0.985)$$

$$(2010–2013 \text{ 年漁期}) \quad R = 0.029SSB - 17.932 \quad (r^2 = 0.995)$$

資源管理基準の検討 各種資源管理方策による漁獲量推移(図 5–4)および資源

表5-4. 青森県津軽海峡海域におけるキアンコウ *Lophius lutulon* の推定資源量

(1)雌 単位:トン

年 齢	漁期年										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2
2	30	26	23	21	18	15	13	13	12	11	12
3	69	65	57	50	44	38	32	28	27	26	24
4	107	107	100	87	75	67	58	48	43	42	39
5	132	126	126	114	93	83	74	61	51	50	47
6	135	133	124	122	100	85	77	65	53	51	47
7	120	117	112	103	88	77	66	57	47	45	42
8	101	101	96	92	74	67	60	49	41	39	36
9	78	77	75	72	58	50	48	41	31	31	30
10	55	53	48	49	40	34	30	29	23	21	21
11	46	40	36	33	29	25	22	19	18	17	15
12	39	40	34	31	27	25	22	19	15	16	15
13	30	28	27	23	19	18	17	14	12	12	11
14	23	22	19	20	15	13	13	12	9	9	9
15	17	15	13	11	10	8	8	7	6	6	6
16	15	15	12	10	9	8	6	6	6	5	5
17	13	13	12	10	8	8	7	5	5	5	4
18	11	10	10	9	8	7	6	5	4	4	4
19	7	6	5	5	5	4	3	3	2	2	2
20+	4	4	3	2	2	2	2	1	1	1	1
Total	1,034	1,000	936	870	726	636	567	483	408	395	370

(2)雄 単位:トン

年 齢	漁期年										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2
2	18	16	14	13	11	10	9	8	8	8	8
3	33	31	28	25	22	19	17	15	14	14	13
4	45	44	41	37	32	28	25	21	19	19	18
5	48	48	47	42	35	31	28	23	20	20	18
6	47	46	45	43	35	30	27	23	19	19	17
7	41	40	39	37	31	27	23	19	16	16	14
8	32	34	33	31	26	24	20	16	13	14	12
9	24	24	26	24	20	18	16	13	10	10	9
10	16	16	16	16	13	11	11	9	7	7	6
11	12	11	10	10	9	7	7	6	5	4	4
12	10	9	8	7	7	6	5	4	4	3	3
13	8	9	7	7	6	6	5	4	4	3	3
14	7	6	7	6	5	5	4	4	3	3	3
15+	6	6	5	5	4	3	3	3	3	2	2
Total	350	343	331	306	259	228	201	170	146	143	134

表5-5. 青森県津軽海峡海域におけるキアンコウ *Lophius lutulon* のRPSと推定加入個体数

漁期年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
RPS	0.066	0.061	0.056	0.051	0.056	0.060	0.063	0.070	0.086	0.086
SSB(トン)	930	905	852	795	661	581	519	440	367	356
加入個体数	61,140	55,200	47,950	40,956	36,814	34,853	32,612	30,590	31,624	30,807

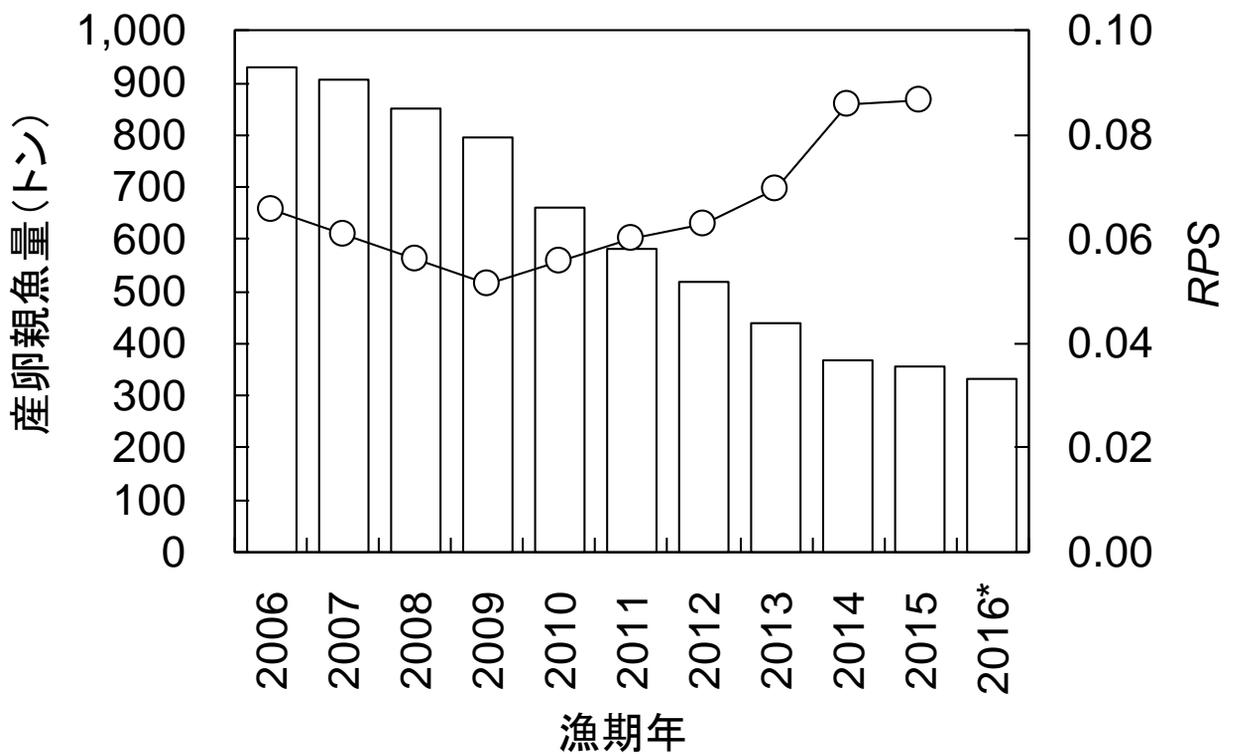


図5-2 VPAにより推定された青森県津軽海峡海域におけるキアンコウ *Lophius litulon* の産卵親魚量とRPSの推移. 白いバーは産卵親魚量, 折れ線はRPSを示す.

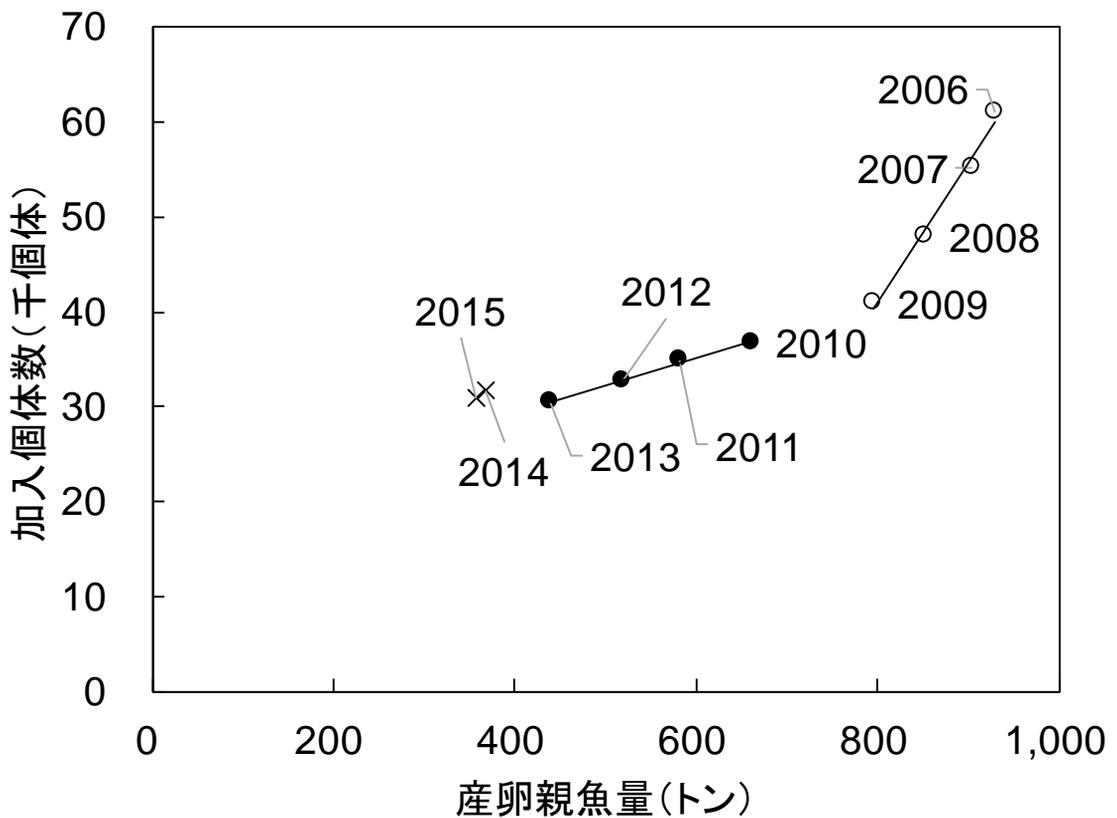


図5-3 青森県津軽海峡海域におけるキアンコウ *Lophius litulon* の産卵親魚量と加入個体数の関係。○印が2006–2009年漁期，●印が2010–2013年漁期，×印が2014–2015年漁期，直線が2006–2009年漁期および2010–2013年漁期の単回帰直線を示す。

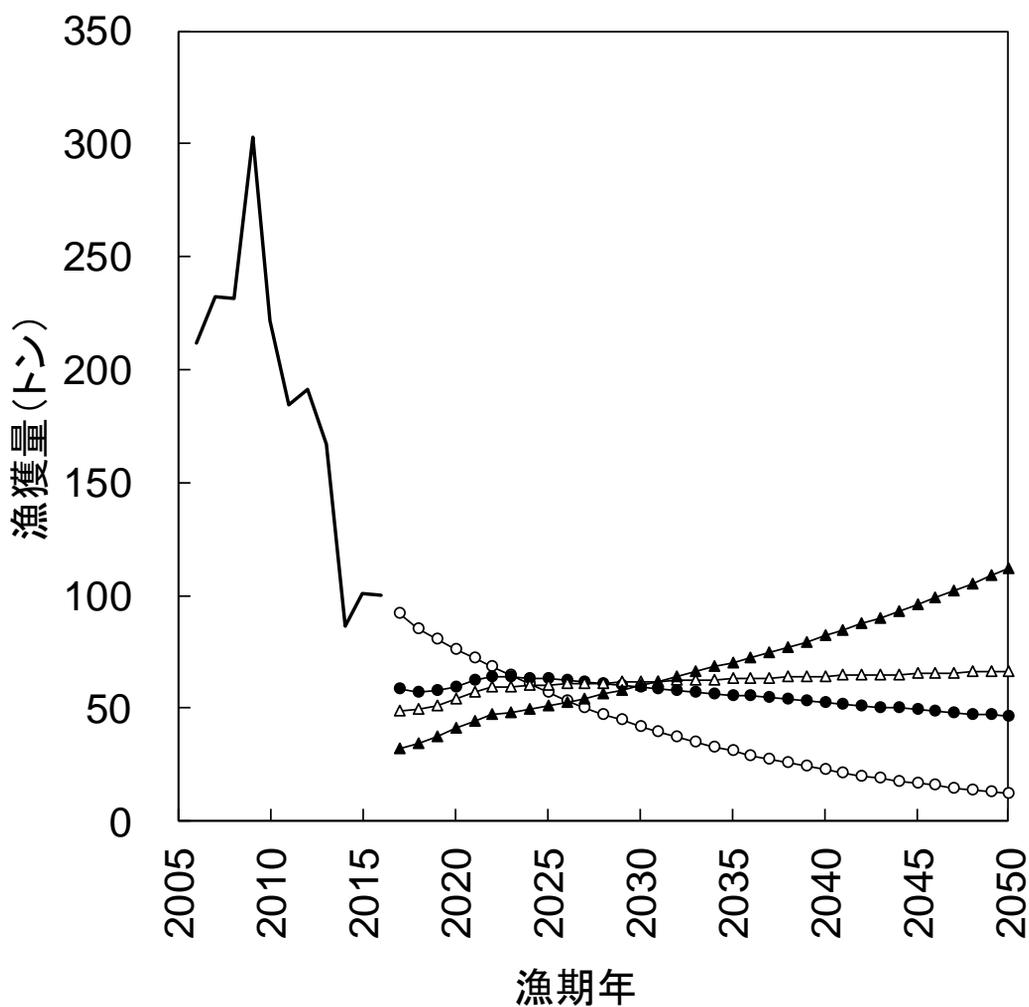


図5-4 各種資源管理方策による漁獲量推移のシミュレーション. 実線は漁獲量実績. 管理方策はそれぞれ, ○印が(1)漁獲係数が2016年漁期並, ●印が(2)5 kg未満個体を放流(雌6歳未満, 雄10歳未満の漁獲係数を0と仮定)且つ5 kg以上個体の漁獲係数は2016年漁期並, △印が(3)5 kg未満個体を放流且つ5 kg以上個体の漁獲係数は2016年漁期並から2割削減, ▲印が(4)5 kg未満個体を放流且つ5 kg以上個体の漁獲係数は2016年漁期並から5割削減.

個体数推移(図 5-5)をシミュレーションした。管理基準(1): F が 2016 年漁期並, 即ち現在の漁獲圧の継続を採用した場合, 2017 年漁期の漁獲量は 92トンと微減だが, 10 年後の 2026 年漁期は 54トン, 20 年後の 2036 年漁期は 29トン, 2050 年漁期は 12トンと減少し続けた。資源個体数についても 2026 年漁期 109,698 個体, 2036 年漁期 59,693 個体, 2050 年漁期 25,470 個体と減少を続けた。管理基準(2): 5 kg 未満の個体を放流且つ 5 kg 以上の個体の F が 2016 年漁期並を採用した場合, 2017 年漁期の漁獲量は 4 割減の 59トン, その後は 2018 年漁期から 2023 年漁期まで微増後緩やかに減少を続けて, 2050 年漁期は 46トンと見積もられた。資源個体数も, 管理基準(1)ほどではないが緩やかに減少を続けた。管理基準(3): 5 kg 未満の個体を放流且つ 5 kg 以上の個体の F を 2016 年漁期並から 2 割削減を採用した場合, 2016 年漁期の漁獲量は 49トンと半減するが, その後は緩やかに上昇して, 2050 年漁期 67トン見積もられた。資源個体数も, 漁獲量同様, 緩やかに増加した。管理基準(4): 5 kg 未満の個体を放流且つ 5 kg 以上の個体の F を 2016 年漁期並から 5 割削減を採用した場合, 漁獲量は 2016 年漁期の 3 分の 1 程度(32トン)まで減少するが, 2026 年漁期は 53トン, 2036 年漁期は 72トン, 2050 年漁期は 112トンと増加して, 2016 年漁期程度の水準まで回復すると見積もられた。資源個体数も, 漁獲量同様に増加して, 近年の豊漁年である 2006 年漁期並の 501,311 個体まで回復する。

5-4 考察

津軽海峡海域におけるキアンコウは年齢形質を用いた成長解析等の報告がないため B の推定ができない資源として取り扱われていたが(柴田ら 2017), 本研究に

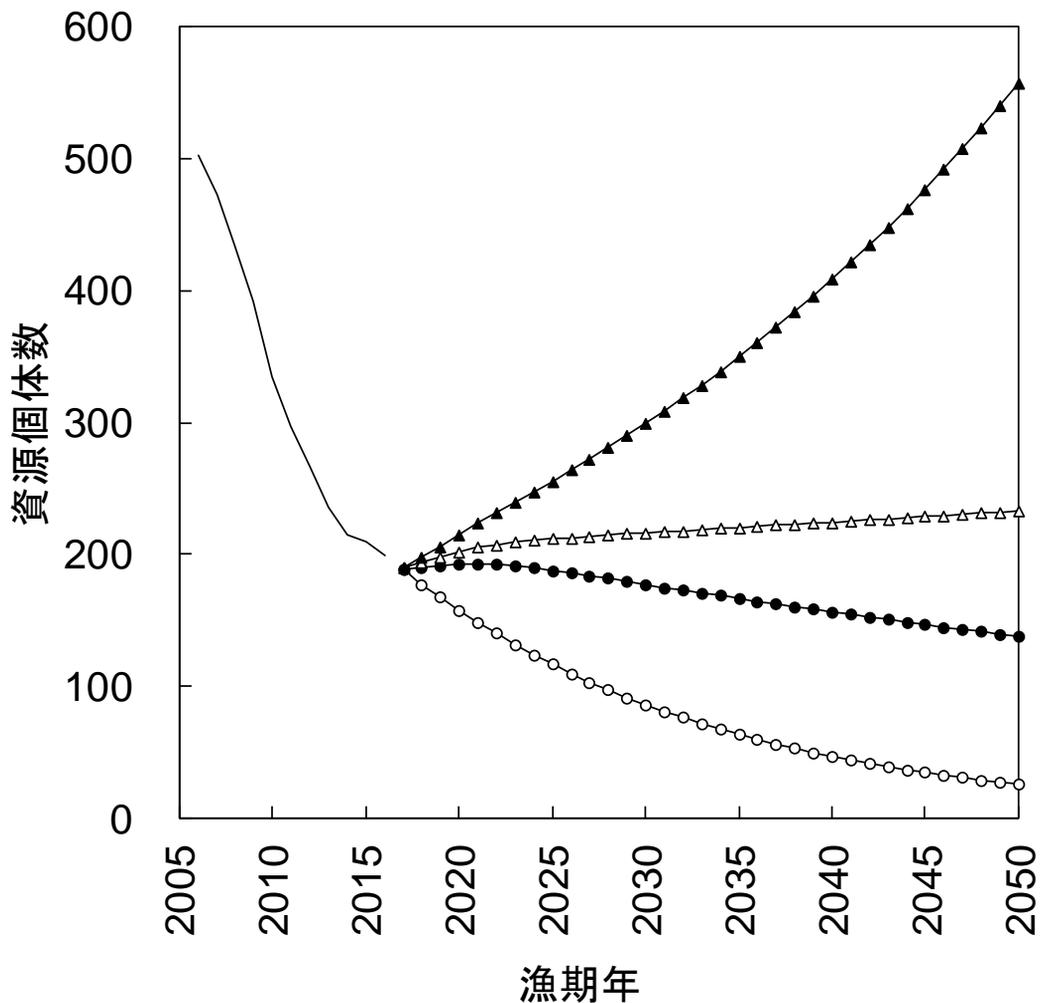


図5-5 各種資源管理方策による資源個体数推移のシミュレーション. 実線はVPAで推定された資源個体数. 管理方策はそれぞれ, ○印が(1)漁獲係数が2016年漁期並, ●印が(2)5 kg未満個体を放流(雌6歳未満, 雄10歳未満の漁獲係数を0と仮定)且つ5 kg以上個体の漁獲係数は2016年漁期並, △印が(3)5 kg未満個体を放流且つ5 kg以上個体の漁獲係数は2016年漁期並から2割削減, ▲印が(4)5 kg未満個体を放流且つ5 kg以上個体の漁獲係数は2016年漁期並から5割削減.

において開発された年齢査定技術，成長解析の結果等を用いて，VPAにより資源個体数， B 等を推定することができる資源として取り扱うことが可能になった。本海域では，漁獲量のデータが銘柄別に集計されており多くのデータを入手しやすいこと，第3章で示したとおりCFの季節変化が小さいことから，Age-length KeyよりもAWKの使用が有効であると考えられた。資源個体数等の推定結果，資源個体数および B ， SSB ， R ，いずれも2006年から減少を続けていた。一方，未成魚の個体数および割合は比較的一定の水準を維持しており，これは本海域における主たる漁法が刺網であることから目合の選択性により小型魚が羅網しづらいことや，本海域において特に産卵期の漁獲量が多い風間浦村では2 kg未満個体の再放流が取り組まれていることによると考えられた。

ABC算定規則漁獲制御ルール1-1)に則り(水産庁増殖推進部 2017)， B_{limit} (F を F_{msy} (MSYを達成する F)から減少させ始める SSB の閾値以下と表記)は，2010-2013年漁期における SSB と R の関係が低水準で推移する一方，2006-2009年漁期における SSB と R の関係は傾きが大きく推移することから，後者の関係において SSB 最小値であった2009年漁期を採用するのが適切，即ち B_{limit} を795トンとするのが適切であると考えられた。2016年漁期の B は504トンであり， B_{limit} を下回っていることから，効果的な資源管理方策の実現が急務であると考えられた。 F_{limit} は2009年漁期の F 雌6.98，雄3.95，合計10.93を B/B_{limit} の比率で引き下げた値，雌2.92，雄1.64，合計4.58であると考えられた。 F_{target} は，安全率0.8を乗じた3.66であると考えられた。この値は，現状の漁獲圧を66.5%削減するものであり，この水準で操業期間や網数等によって漁獲努力量を削減することは，漁業者間の合意形成が極めて困難であると考えられた。

現状の漁獲圧を継続した場合の資源個体数および漁獲量の推移をシミュレーションした結果、2050年漁期は12トン(2016年漁期比12%)、25,470個体(2016年漁期比13%)まで減少して、資源状況は壊滅的な状況になると考えられた。一方、現実的な3種類の資源管理方策を仮定して、資源個体数および漁獲量の推移をシミュレーションした。その結果、管理基準(2): 5 kg未満の個体を放流且つ5 kg以上の個体の F は2016年漁期並の場合は、現状の漁獲圧を継続した場合ほどではないが緩やかに減少傾向となった。管理基準(3): 5 kg未満の個体を放流且つ5 kg以上の個体の F は2016年漁期並から2割削減の場合、漁獲量および B は緩やかに上昇傾向となった。管理基準(4): 5 kg未満の個体を放流且つ5 kg以上の個体の F は2016年漁期並から5割削減の場合、2050年漁期までに漁獲量は2016年漁期並みに回復、資源個体数もピーク時の2006年漁期相当まで回復すると考えられた。現在は、本海域において特に産卵期の漁獲量が多い風間浦村では2 kg未満個体の再放流が取り組まれているが、今般のシミュレーション結果から、持続的に津軽海峡海域のキアコウ資源を利用していくためには、管理方策として少なくとも海域全体において管理基準(3): 5 kg未満の個体を放流且つ5 kg以上の個体の F を2016年漁期並から2割削減するという選択肢を採用する必要があると考えられた。

しかし、今般用いたシングルVPAは最近の F を何らかの方法で仮定する必要があるが、資源評価上最も重要な最近年の資源個体数の信頼性が低くなるという欠点がある(平松 1996)。また、 M について、第3章で示したとおり小型魚の共食いが発生していたことから、雌の未成魚及び雄の小型魚の M を過少評価している恐れもある。今後は、漁獲努力量や発生量調査等の体制を整備して、CPUEや資源量指数等の情報を併用して最近年の資源個体数や F を推定するチューニングVPAの技術

を確立する必要がある(和田・時村 1999)。

*RPS*は、2006–2012年漁期の0.051–0.066から、2013年漁期の0.070、2014–2015年漁期0.086と上昇していた。従って、2013年以降に同時期、広域的に卓越年級群が発生した可能性が示唆された。今後も *RPS* の推移をモニタリングして、環境要因等を踏まえて変動要因を解明する必要がある。

第6章 総合考察

これまで、キアンコウの成長や性成熟、移動回遊、年齢・性組成等の生活史特性の多くは未詳であり、資源管理が困難であった。特に、水産庁及び水産研究・教育機構は太平洋北部海域の本種について資源評価結果に基づき生物学的許容漁獲量(Allowable Biological Catch: ABC)を計算しているが(水産庁増殖推進部 2017)、年齢形質を用いた成長解析等の報告がないため資源量の推定ができない、2系資源として取り扱われていた(柴田ら 2017)。しかし、本研究は青森県周辺海域における本種について多くの生活史特性が明らかになり、資源量の推定、並びに1系資源としての資源管理手法が適用可能となった。

6-1 生活史特性

本章では最初に、本研究で解明された青森県周辺海域の本種について、解明された生活史特性を整理する。

移動と行動 標識放流及びバイオロギング調査の結果から、基本的に本種の移動・回遊範囲は主に放流海域である津軽海峡東部から隣接する太平洋の青森県周辺海域と狭く、水深100 m前後の陸棚縁辺部を中心に、季節的移動(8-9月に深場へ、10月-翌年1月に浅場へ、2月から再び深場へ、4-7月に再び浅場へ移動)を行うことが確認された。特に、生殖腺の発達程度や後述の卵帯・仔魚の出現状況から、4-7月における浅場の移動は産卵行動に伴うものであると推察された。適水温は上半期1-6月:4-10°C、下半期7-12月:8-14°Cであるが、後述のとおり、水温選択を目的に水平移動する可能性があることも示唆される。また、深夜に頻繁に認められ

た海面近くまでの浮上行動は、水槽飼育でも観察されており、排泄行動である可能性が最も高い。

食性 全海域で胃内容物のほとんどは魚類で占められており、捕食していた魚種は海域によって異なり、各海域の魚類相を反映していた(日本海ではマアジやカレイ類等、津軽海峡ではキアンコウ共食い等、太平洋ではマダラ等)。キアンコウの共食いは、津軽海峡の>600 mm で多く(%IRI=58.4%)、原因は餌豊度の低さや生息するキアンコウが高密度に分布するためと推察された。この高密度分布の原因は、東北周辺海域において 2013 年前後生まれと推察される小型魚が底曳網等に多く入網しており(福島県水産試験場・茨城県水産試験場・秋田県水産振興センター・山形県水産試験場私信)、青森県周辺海域でも卓越年級群が発生したと推察された。

成熟と栄養状態 青森県周辺海域における 50%成熟全長はそれぞれ、雌 549 mm TL, 雄 300 mm TL であった。GSI は雌雄ともに 9–11 月に低く、その後上昇し 7 月まで高かった。特に、雌における 5–6 月の GSI の増大は顕著であり、本海域における産卵期は 5–7 月と推察された。また、全海域において産卵期と考えられている春季に HSI が高く、産卵後の夏季から秋季に空胃率が低かったことから、産卵後は栄養状態を回復するために積極的に摂餌しているものと推定された。

成長 本研究で得られた最大年齢は、日本海で雌 8.9 歳, 雄 11.9 歳, 津軽海峡で雌 23.6 歳, 雄 19.9 歳, 太平洋で雌 8.9 歳, 雄 12.9 歳であり、津軽海峡では雄の方が 3.7 歳短命、日本海と太平洋では雌の方が 3.0–4.0 歳短命であった。Growth Performance Index ϕ' (Pauly and Munro 1984) は、日本海で雌 5.19, 雄 5.16, 津軽海峡で雌 5.32, 雄 5.21, 太平洋で雌 5.13, 雄 5.09 と、いずれの海域でも雌の値が高かったことから、雄よりも雌の成長が速いと考えられた。

6-2 資源量変動

海洋生物資源量の変動は、環境等の自然的要因と漁獲強度等の社会的要因によって引き起こされると考えられており(川崎 2016a)、本項では青森県周辺海域におけるキアンコウの資源量変動について、両者の観点から考察する。

前者の自然的要因について、近年はレジームシフトの影響が大きいと考えられている。レジームシフトとは、「大気・海洋・海洋生態系から構成される地球表層系の基本構造(regime)が、数十年の時間スケールで転換(shift)すること」と定義される(川崎 2016a)。事例として、日本のマイワシ・カタクチイワシの魚種交代が挙げられ、このような魚種交代は世界の各水域でも生じている(川崎 2016b)。20 世紀のレジームシフトは、1925/26 年、1942/43 年、1957/58 年、1970/71 年、1976/77 年(花輪・安中 2004)、1989/90 年、1998/99 年(見延 2002)に生じたと考えられている。以降、熱が海洋に蓄積されることで全球平均気温の上昇が一時的に低下する hiatus の状態にあったが、2014/2015 年に hiatus の終了を推察させる変化が生じている(黒田・戸谷 印刷中)。太平洋熱帯域では 2014/15 年に、1997/98 年に匹敵する大規模なエルニーニョが発生し、2015 年の全球平均気温と全球平均海面水温が過去最高を記録した(Tollefson 2016, Nature news; JMA, 2016, website)。2014 年以降、太平洋十年規模振動(PDO)は概ね正を示しており、現在の PDO 正の状態は今後十年規模で継続する可能性がある(Meehl *et al.* 2016)。以上から、太平洋北部海域では寒冷なフェーズに突入したことが推察される。

青森県周辺海域では、レジームシフトに対応して、1925–47 年寒冷期、1948–76 年温暖期、1977–88 年寒冷期、1989 年以降温暖期であり、日本海ではそれらに対

応して温暖期に暖水性のスルメイカ、ヤリイカ、ウスメバル *Sebastes thompsoni*, ヒラメ *Paralichthys olivaceus*, ブリ *Seriola quinqueradiata* 等が増加傾向, 冷水性のホッケ *Pleurogrammus azonus*, マダラ, スケトウダラ *Gadus chalcogrammus*, サケ *Oncorhynchus keta* が減少傾向を示している(伊藤 2013)。

キアッコウにおいても, 資源管理を検討するに当たり, 本種の資源量が気候・海洋のレジームシフトにどのような影響を受けて変動するか検討する必要がある。二平(2004)は, 太平洋北部海域において 1976/77 年, 1989/90 年, 1997/98 年に起きたとされる気候・海洋のレジームシフトとキアッコウの資源変動について, 常盤沖では 1976/77 年以降に減少傾向, 1989/90 年以降に上昇傾向を, 三陸沖では 1976/77 年以降は横ばい, 1989/90 年以降に上昇傾向を示し, 両海域とも 1997/98 年付近では顕著な資源変動は認められなかったとしている。

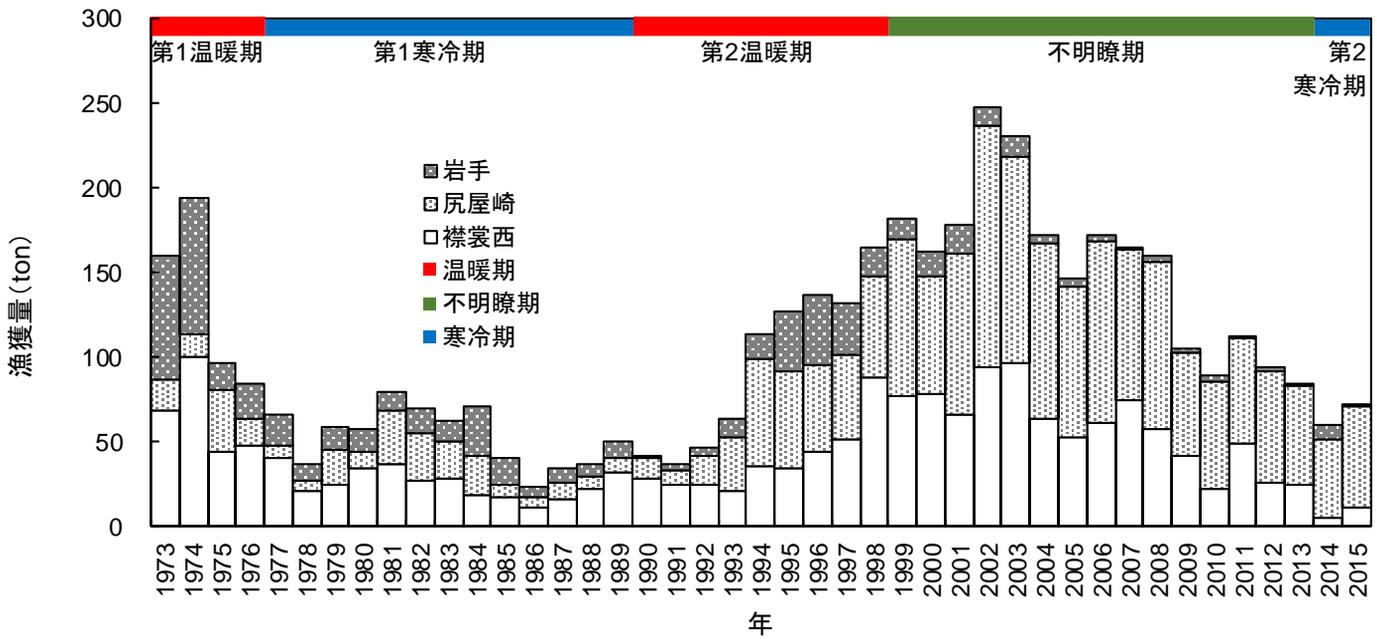
青森県におけるキアッコウの漁獲統計が整備されたのは 2005 年 4 月以降でありレジームシフトとの相関は不明であるが, 水産研究・教育機構東北区水産研究所が北部太平洋海域における沖合底曳き網漁業の漁獲量を報告している(柴田ら 2017), その値を用いて, キアッコウの資源変動に対する気候・海洋レジームの影響を考察した。本研究では, 気候・海洋のレジームを, 見延(2002)に基づいて 1948–76 年を第 1 温暖期, 1977–88 年を第 1 寒冷期, 1989–98 年を第 2 温暖期, 1999–2013 年を不明瞭期, さらに先述のとおり 2014 年以降, PDO が正の状態を示していることから, 2014 年から現在までを第 2 寒冷期と仮定して考察した。二平(2003)は北部太平洋海域においてキアッコウを, 三陸北部系群と常盤系群の 2 系群の存在を示唆しているが, 広域的な個体群動態に関する知見は未だ少ないことから, 襟裳西, 尻屋崎, 岩手県を三陸北部グループ, 金華山, 常盤, 房総を常盤グループとしてそ

れぞれ解析した。

その結果、三陸北部グループの第 1 温暖期は 1973–74 年 160–194 トンから、1975 年 96 トン、1976 年 85 トンと減少し、第 1 寒冷期 1977–89 年は 24–80 トンで推移、第 2 温暖期は 1990–93 年の期間は 37–64 トンと前期と同水準で推移したが、5 年目の 1994 年 114 トン、1998 年 166 トンと増加傾向に転じた(図 6–1)。1999 年、不明瞭期に入った以降も増加傾向は継続して 2002 年 248 トンとピークを迎えたが、以降は徐々に減少傾向に転じ、2013 年は 84 トンまで減少した。第 2 寒冷期に入った 2014 年は 60 トン、2015 年 72 トンと推移していた。常磐グループの第 1 温暖期は 1973 年 332 トンから減少し、第 1 寒冷期に入り 1979–86 年は 3–9 トンと極めて低水準で推移、その後 1987 年に 28 トンと小さなピークが認められ、第 2 温暖期に入ると増加傾向に転じ、1997 年には 1,002 トンとピークを迎えた。その後は減少傾向となり、不明瞭期に入った以降も漸減、2013 年は 99 トンまで減少した。第 2 寒冷期に入った 2014 年は 264 トン、2015 年 170 トンと推移していた。両グループとも、第 1 温暖期終了 2–3 年を残して減少傾向に転じ、第 1 寒冷期は低迷、第 2 温暖期に入り徐々に増加傾向、不明瞭期に入って三陸北部グループでは 5 年目以降、常磐グループでは 1 年前から減少傾向、第 2 寒冷期のデータは 2 年分と不十分であるが、レジームシフトとは若干前後するものの温暖期には増加傾向、寒冷期には減少傾向を示していた(図 6–1)。一方で、PDO と青森県津軽海峡沿岸におけるキアンコウ *RPS* の関係には、正の相関($r=0.824$)が認められている(図 6–2)。また、漁業者からの聴き取りでも、近年は小型魚の加入が増加しているという印象であるとのことであった。

以上のとおり、大気・海洋とキアンコウ資源について、両者の変動における関係に

(三陸北部グループ)



(常磐グループ)

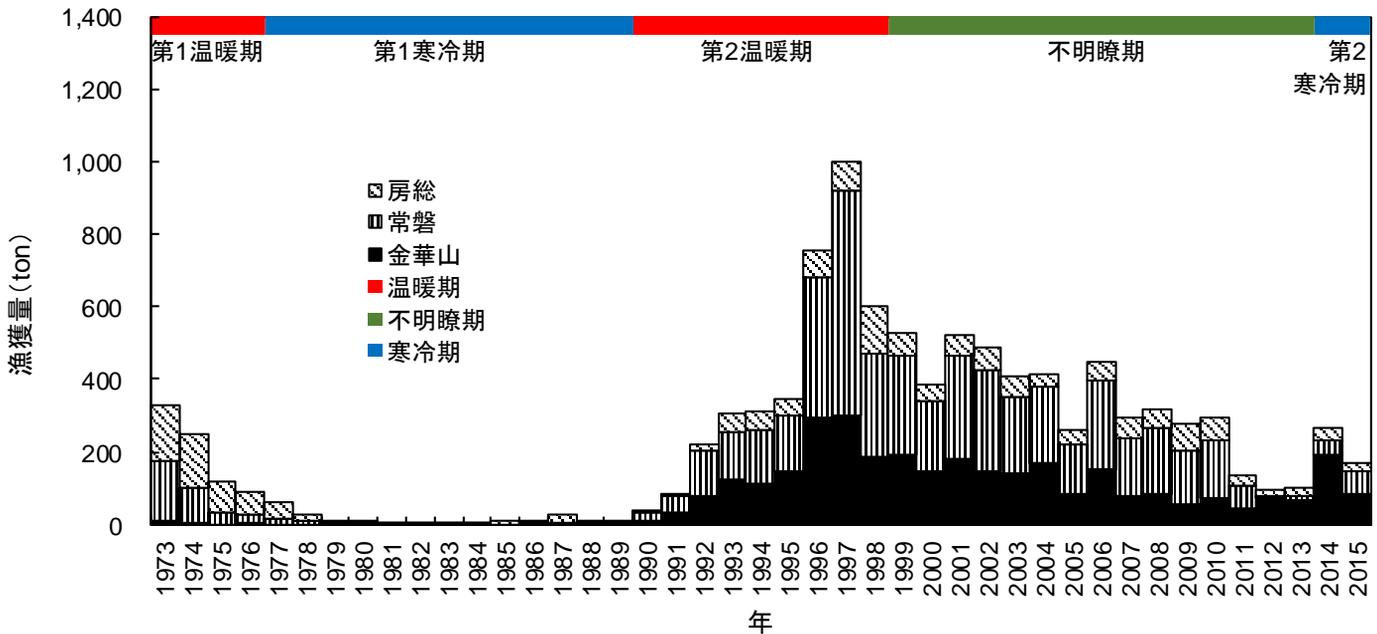


図6-1 北部太平洋の沖合底びき網漁業によるキアンコウ *Lophius litulon* 漁獲量の年推移.

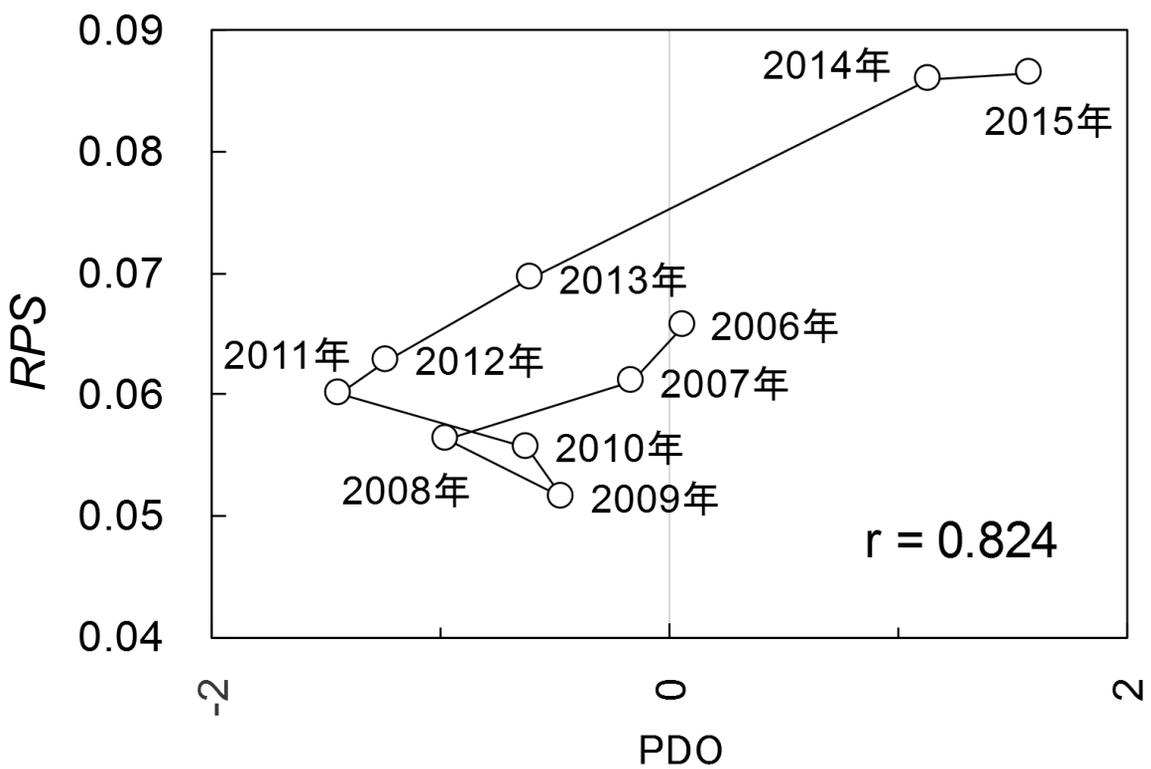


図6-2 PDOと青森県津軽海峡沿岸におけるキアンコウ *Lophius litulon* の RPSの関係.

は、温暖期に増加・寒冷期に減少という一定の傾向がみられる。しかし、寒冷期に突入したと考えられる近年、第 3 章食性と栄養状態で示した共食いの増加やと第 5 章津軽海峡東部における資源量推定と管理で示した *RPS* の増加から青森県津軽海峡沿岸で初期加入が増加しているという、従来とは逆の傾向もみられている。また、環境水温の変化に伴う分布域の変化も考えられる。本種は、標識放流の調査結果から、津軽海峡に分布する本種は大きく水平移動しないことが示唆された。バイオロギングの調査結果から本種の適水温は上半期 1–6 月：6–10 °C、下半期 7–12 月：10–14 °C であることが解明されたが、2014 年 2–3 月に津軽海峡で発生した低水温（年偏差 -6.0 °C から -1.6 °C）の影響で日本海や太平洋の他海域へと群れで大きく水平移動した事例もあることから（竹谷 2015b）、これらの影響についても注視が必要である。今後は、資源動向予測に関わる研究が必要であり、特に生残率に大きくかかる初期生残過程を解明する必要があるだろう。

津軽海峡東部海域における本種の資源量減少の一因として漁獲強度の高さが示唆された。今般用いられたシングル VPA では環境変動の要因を考慮できていないが、本条件下では少なくとも海域全体において 5 kg 未満の個体を放流且つ 5 kg 以上の個体の F を 2016 年漁期並から 2 割削減する必要があり、将来に渡って漁獲量を増大させていくためには少なくとも F を 2 割以上削減して行く必要があることが示唆された。今後は環境変動の影響を資源量推定のチューニングに反映していくために、生活史初期の生態及び加入量変動要因の解明が必要となる。

6–3 資源管理のあり方

(資源モニタリングの重要性)

これまで太平洋北部の本種は、年齢形質を用いた成長解析等の報告がないため資源量の推定ができない 2 系資源として取り扱われていたため、その資源変動は主に漁獲量や沖合底曳き網漁業の CPUE から推定されていた(柴田ら 2017)。しかし、本研究は青森県周辺海域における本種について多くの生活史特性が明らかになり、1 系資源としての資源量の推定並びに管理の可能性が示唆された。特に、背鰭第一棘を用いた全長や体重の逆算と年齢査定、瘤状鼻管幅を用いた雌雄の判別を行えば、試料魚を買い付けする必要なく安価かつ迅速に VPA により資源量を推定することが可能になった。

一方、先述のとおりほとんどの個体において大きく水平移動することはないが、一部の個体では環境変動に伴い水平移動する可能性もあることから、太平洋北部全体で VPA 等を行って資源量の推移を把握することが重要であり、現在、水産研究・教育機構と青森県産業技術センター水産総合研究所が太平洋北部における本種の資源量推定及び管理に向けた体制整備を進めている。

(漁獲圧の削減)

先述の通り、キアコウ資源の変動には自然的・社会的要因の両者が影響していると考えられた。一方で、前者を人為的に管理することは困難であり、現状の資源管理においては漁獲圧の削減が唯一の策と考えられた。

具体的な漁獲圧の削減方法としては、(1)インプットコントロール(投入量規制)、(2)テクニカルコントロール(技術的規制)、(3)アウトプットコントロール(産出量規制)の 3 つが考えられる(水産庁 <http://www.jfa.maff.go.jp/j/suisin/>, 2017 年 3 月 1 日)。

青森県周辺海域における資源管理の主体者は、津軽海峡：刺網・定置網等の沿岸漁業並びに日本海・太平洋：（沖合・小型機船）底曳網漁業の漁業者，行政機関等である。

(1)インプットコントロール(投入量規制)は，具体的に操業隻数，漁船のトン数・馬力，操業期間等の制限が挙げられ，これらは漁業法や漁船法等の関連法令により管理されている。また，太平洋北部海域では底曳網漁業において，「太平洋北部沖合性カレイ類資源回復計画(2003–2011年度)」として減船や漁船の小型化，休漁等に取り組み，資源回復計画終了後も同様の取り組みを継続している。

(2)テクニカルコントロール(技術的規制)は，具体的に漁具や漁期，漁獲物，操業等の制限が挙げられる。漁具や漁期もまた，漁業法や漁船法等の関連法令により管理されている。太平洋北部海域の底曳網漁業を対象にした資源回復計画では，保護区の設定や漁具改良，漁場環境の保全措置等に取り組んでいる。また，津軽海峡海域において本種の主たる産卵場と考えられる風間浦村では，2010年漁期から2 kg未満小型魚の再放流に取り組んでいる。さらに，2015年から，同海域で本種の主たる漁法である刺網について目合拡大試験を実施中であり，一般的な目合1尺2寸から1尺5寸に拡大すると，1操業あたりの3 kg未満の漁獲個体数が2.74個体から1.65個体へ減少し，且つ漁獲物の組成がより商品価値の高い大型魚にシフトした結果，1操業あたりの漁獲金額が29,110円から36,300円へと増加したことから，既に一部の漁業者には実用化されており，未成魚保護の観点から今後の普及拡大が期待される(竹谷・三浦 2017)。また，第5章で述べたとおり，少なくとも小型魚の放流基準を5 kgに拡大，さらに対象海域を本種のほとんどが生きのまま漁獲される津軽海峡東部全体に拡大することが望ましい。

(3)アウトプットコントロール(産出量規制)は、具体的に漁獲可能量(TAC)や個別割当方式(IQ)が挙げられるが、本種では未だ実施されていない。秋田県ではハタハタについて、資源調査を県が中心に実施して(甲本ら 2016)、独自に TAC を定めており(杉山 1998)、こういった事例も参考に資源管理を行っていく必要がある。

(資源管理に向けた漁業者・地域住民との合意形成事例)

資源の持続的利用には漁獲圧の削減が不可欠であると前述したが、漁家収入の減少は避けられず、代替漁業など収入源を補う策がない場合、漁業者の理解を得難い。一方で、資源管理に向けた漁業者・地域住民との合意形成事例として、著者が津軽海峡東部海域の主たる産卵場と考えられる風間浦村において取り組んだ事例があるので、次に紹介する(竹谷 2015a)。

風間浦村は人口 2,062 人(2016 年 10 月時点)、主な産業は漁業と観光業であり、県が提唱するヴァーチャルビレッジ「下北ゆかい村」の中心として下北地域の産業振興に努めている。漁業では、キアンコウ漁業に対する依存度が大きく、一方で本海域における重要な産卵場の一つであると考えられる。本種の資源管理に向けて、当初は産卵期の禁漁を検討したが、村内 3 漁協間において年間の漁業スケジュールが異なる(A 漁協: キアンコウは冬季を中心に漁獲、産卵期には小型いか釣り漁業へ漁法転換, B 漁協: 冬季はアワビ・ウニ等の磯根資源に依存、魚類は産卵期のキアンコウ以外にはほとんど漁獲されない為、漁家経営上、産卵期のキアンコウ全面禁漁は不可能)ことから盛漁期に差があり、一律的な禁漁に対する合意形成を図ることはできなかった。そこで、漁業者を中心に「風間浦村きあんこう資源管理協議会」を設置して、2 kg 未満小型魚の再放流や刺網の目合拡大試験、漁期短縮等の複合的な資源管

理手法の検討等を行っている。これらの合意形成にあたっては、次に述べる地域ブランドの取り組みによる価格向上効果と、それを維持・管理しようとする漁業者の自覚による効果が大きい。

地域ブランドの推進の取り組みは、漁業者に観光業者や流通・加工業者，行政機関等が一体となった「ゆかい村風間浦鮫鱈ブランド戦略会議」が主体となっている。主たる取り組みの一つとして、水揚げされるキアンコウのうち、下記の条件を満たすものを地域ブランド「風間浦鮫鱈」と認証して流通・販売している。

- (1)5 kg 以上のもの
- (2)生きたまま水揚げされたもの
- (3)12-3 月に漁獲されたもの
- (4)胃の内容物を取り除いたもの

これらの条件は、(1)一般的に肝臓の歩留まりが高く商品価値の高い大型の銘柄、(2)高鮮度、(4)口腔・消化器から胃内容物の腐敗臭がしない等、品質面の保障を目的としている。また、(1)では未成魚の可能性のある 5 kg 未満の個体や、(3)産卵期である 4-6 月を認証の対象としないことで、乱獲防止の効果も視野に入れている。さらに、出荷に当たっては生きたまま漁獲できるという地域の優位性を生かした安静蓄養と出荷調整、即殺処理による高鮮度保持・流通技術(竹谷 2014)を活用するとともに、贈答向けには筋肉中の自由水除去による高品質冷凍技術(竹谷ら 2014)を活用した鍋セット等の加工品も開発・商品化されており、首都圏の高級料理店・デパート等を中心に出荷・販売されている。高級店の顧客層はエシカル消費に対する意識も高く、村漁業者による資源管理の取り組みにも注目している。さらに、村の下風呂温泉郷において毎年 12-3 月に「ゆかい村風間浦鮫鱈まつり」を開催しており、冬季の下北半島

における重要な観光コンテンツに成長した。これらの地域ブランドを知的財産として保護するため、2014年9月5日付で「風間浦鮫鱈」として地域団体商標を登録した。地域団体商標登録は、青森県では「大間まぐろ」等に続いて6例目、アンコウ類の登録としては全国初の事例となり、模倣品の排除等に活用されている。これらの効果によって、風間浦村産キアンコウの平均単価は倍増し、さらに価格上昇の効果は周辺自治体へ波及した(竹谷 2015a)。

漁業者や加工業者、流通業者等は、高価格化に伴って乱獲に転じることなく、キアンコウ資源の管理と地域産業の持続可能性に対して強い自覚を持ち、先述の資源管理に向けた取り組みを継続している他、本種の資源量推定に必要な背鰭第一棘や瘤状鼻管の試料を無償で提供しており、これらを用いて青森県産業技術センター水産総合研究所では青森県下北地域県民局地域農林水産部むつ水産事務所と連携して、津軽海峡東部海域における資源量推定を実施し、資源管理協議会に対して定期的な資源管理手法の提言を行っている。こうした取り組みを受けて、ゆかい村風間浦鮫鱈ブランド戦略会議は、「持続可能な地域づくりのモデルになり得る」として、平成28年度(第55回)農林水産祭日本農林漁業振興会会長賞(むらづくり部門)及び平成28年度豊かなむらづくり全国表彰事業農林水産大臣賞を受賞した。

資源管理の合意形成においては、漁家収入の維持が不可欠である。近年は、漁獲努力量の削減にあたり、水産庁や全国漁業共済組合連合会が推進する積立ぷらすや共済掛金追加補助等の漁業収入安定対策制度を活用する方法が一般的であるが、先行きの不透明感から将来を不安視する漁業者は少なくない。資源管理の合意形成では、風間浦村における事例のように、資源動向のモニタリングと、管理手法の定期的な検証、さらに漁家収入を維持するための地域ブランド化推進等、地域産

業全体を巻き込んだ漁家収入維持の体制づくりが有効であると考えられる。

要約

青森県津軽海峡沿岸に分布するキアンコウの生態や移動回遊、食性、年齢・成長、性成熟、年齢査定法、性判別法等を調査して、効果的な資源管理手法の提示を試みた。

1. 津軽海峡における標識放流調査の結果、青森県津軽海峡東部海域から放流された個体の 81.8%は、同海域と、隣接する同西部海域および同県太平洋海域で再捕されたことから、基本的に、本種の移動、回遊範囲は狭いと考えられた。また、本海域沿岸の特に 100 m 以浅の海域はキアンコウの産卵場の一つであり、3 月頃から浅場への移動を始め、5-6 月に生殖腺成熟のピークを迎えて産卵に至ると考えられた。
2. バイオロギングにおける生息水深の頻度分布の月推移では、放流直後の 2010 年 6 月を除いて、8-9 月に深場へ、10 月から翌 1 月に浅場へ、2 月から再び深場へ、4-7 月に再び浅場への移動が確認された。これらの結果は、標識放流において産卵期に浅場へ移動する結果と一致していた。また、主な生息水深は 200 m 以浅であり、特に適水温選択(上半期 1-6 月: 4-10°C, 下半期 7-12 月: 8-14°C)の結果 100 m 前後の大陸棚縁辺部に生息すると推察された。
3. バイオロギング調査のデータから、各個体における月の旬別の平均水温および平均水深と各地先の水温を比較して移動経路を推察した結果、5 個体は放流海域周辺から大きく移動していないことが推察された。一方、5 個体(うち 2 個体は放流海域で再捕)は、北海道や青森県太平洋沿岸等、キアンコウ漁業の閑散期である 7-11 月の期間に放流海域外へ移動していたものと推察された。
4. 食性解析の結果、日本海 98.8%、津軽海峡 99.4%、太平洋 98.0%と、全海域で

魚類の胃内容物相対指数(%*IRI*)が高かった。捕食していた魚種は海域によって異なり、各海域の魚類相を反映していた(日本海ではマアジやカレイ類等、津軽海峡ではキアンコウ共食い等、太平洋ではマダラ等)。共食いは、津軽海峡の >600 mm で多く(%*IRI*=58.4%)、その要因は餌豊度の低さやキアンコウの生息密度分布の高さ、卓越年級群の発生等が推察された。

5. 栄養状態の解析結果、全海域において産卵期と考えられている春季に肝臓重量指数 HSI が高く、産卵後の夏季から秋季に空胃率が低かったことから、産卵後は栄養状態を回復するために積極的に摂餌しているものと推定された。
6. 青森県周辺海域におけるキアンコウの背鰭第一棘による年齢査定法を検証した。背鰭第一棘の付け根付近の横断面をエッチング処理した後、メチレンブルーで染色し、実体顕微鏡下で落射光と透過光の両者による比較観察した結果、不透明帯数の読み取り精度が向上した。同横断面には、1年に2本の不透明帯(主に6月と11-12月)が形成されていた。背鰭第一棘による年齢査定は脊椎骨によるものよりも読み取り誤差が小さく、標識放流魚の成長追跡結果と類似したことから、優れた年齢査定法であると判定した。
7. 外部形態による性判別法を確立するために、瘤状鼻管幅の性的二型を利用した性判別法の精度を検証した。体重1 kg以上のキアンコウの全長(TL)-瘤状鼻管幅間の雌雄別回帰式は、雄が相対的に大型の瘤状鼻管幅を示した。両回帰式の±20%の範囲で雌雄判別した正答率は、400-499 mm TL で 93.0%、500-899 mm で 94.9-96.0%、≥900 mm で 100%を示し、400 mm TL 以上ではほぼ実用的な性判別法と判断した。

8. 本研究で得られた最大年齢は、日本海で雌 8.9 歳、雄 11.9 歳、津軽海峡で雌 23.6 歳、雄 19.9 歳、太平洋で雌 8.9 歳、雄 12.9 歳であり、津軽海峡では雄の方が 3.7 歳短命、日本海と太平洋では雌の方が 3.0–4.0 歳短命であった。成長速度の指標となる Growth Performance Index ϕ' は、日本海で雌 5.19、雄 5.16、津軽海峡で雌 5.32、雄 5.21、太平洋で雌 5.13、雄 5.09 と、いずれの海域でも雌の値が高かったことから、雄よりも雌の成長が速いと考えられた。
9. 青森県周辺海域における 50%成熟全長はそれぞれ、雌 549 mm TL、雄 300 mm TL であった。GSI は雌雄ともに 9–11 月に低く、その後上昇し 7 月まで高かった。特に、雌における 5–6 月の GSI の増大は顕著であり、本海域における産卵期は 5–7 月と推察された。
10. 青森県周辺海域では、背鰭第一棘を用いた全長や体重の逆算と年齢査定、瘤状鼻管幅を用いた雌雄の判別を行えば、試料魚を買い付けする必要なく Age-weight Key を作成できるようになった。また、性比や年齢査定、成長・成熟解析の結果を用いて、VPA により資源量を推定することが可能になった。
11. 資源個体数等の推定の結果、資源個体数および B 、 SSB 、 R 、いずれも 2006 年から減少を続けていた。2016 年漁期の B は 504 トンであり、 B_{limit} は 795 トンを下回っていることから、効果的な資源管理方策の実現が急務であると考えられた。複数のシミュレーション結果から、管理方策として少なくとも海域全体において 5 kg 未満の個体を放流、且つ 5 kg 以上の個体の F を 2016 年漁期並から 2 割削減する必要がある、将来に渡って漁獲量を増大させていくためには F を 2 割以上削減して行く必要があると考えられた。

12. *RPS*は、2006–2012年漁期の0.051–0.066から、2013年漁期の0.070、2014–2015年漁期0.086と上昇していた。従って、2013年以降に同時期、広域的に卓越年級群が発生した可能性が示唆された。
13. 過去の太平洋北部における沖合底曳網漁獲量は、レジームシフトに同調していた。今後、寒冷レジームで推移すれば、キアコウ資源は低調に推移する可能性があり、より厳しい資源管理が求められる。しかし、青森県周辺海域では近年のPDOと*RPS*との間には正の相関がみられたことから、局所的には寒冷レジームで資源量が増加する可能性もある。
14. 資源管理の合意形成では、風間浦村における事例のように、資源動向のモニタリングと、管理手法の定期的な検証、さらに漁家収入を維持するための地域ブランド化推進等、地域産業全体を巻き込んだ魚価向上の体制づくりが有効であると考えられる。

謝辞

本論文を取り纏めるにあたり、指導教員として終始ご指導を頂きました北海道大学大学院水産科学院 高津哲也 教授、並びに北海道大学水産学部 中屋光裕 特任助教におかれましては、衷心より感謝申し上げます。また、学位論文審査にあたりご指導とご高閲を頂きました北海道大学大学院水産科学院 綿貫 豊 教授、同 山村織生 准教授、同 中谷敏邦 准教授におかれましては、衷心より感謝申し上げます。

平成 19 年に青森県下北地域県民局地域農林水産部むつ水産事務所に水産業改良普及員として赴任、風間浦村・むつ市大畑町を担当した際に、当時はまだ漁業資源として重要視されていなかった津軽海峡産のキアンコウに着目したことから始まり、標識放流による移動の把握や資源管理手法の検討、地域資源としての発掘・活用に取り組んだ。平成 23 年、地方独立行政法人青森県産業技術センター下北ブランド研究所に赴任した際は、本種のバイオロギングによる行動解析や適水温に関する知見を活用した高鮮度保持技術開発、新規加工品の開発等を通じて地域ブランド化の推進に取り組んだ。平成 26 年、同センター水産総合研究所に赴任して、本種の食性と栄養状態や年齢査定法の開発、性判別法の開発、資源量推定、管理手法の開発等に取り組んだ。10 年半に及ぶこれらの研究等は、資材費高や魚価安による漁家経営の悪化、後継者不足等に苦しむ青森県の水産業振興の一助とすべく取り組んだものであり、本論文はこれらを取り纏めたものである。

以下に、本論文を取り纏めるにあたり、お世話になった方々のご芳名を記し、改めて深く感謝の意を表します。

(株)駒嶺商店 駒嶺剛一 代表取締役、風間浦村きあんこう資源管理協議会 会

員諸氏, 蛇浦漁業協同組合 中塚義光 代表理事組合長, 同 沖刺網部会員諸氏, 同 青年部員諸氏, 同 山本公明 業務主任, 同 前田稔 主事補, 易国間漁業協同組合 越膳祐治郎 代表理事組合長, 同 川島俊一 総務主任, 同 研究会員諸氏, 下風呂漁業協同組合 橘 和幸 代表理事組合長, 同 橘 哲彦 総括主任, 同 研究会員諸氏, 同 小型いか釣り漁業者諸氏, 青森県漁業士会むつ支部会 会員諸氏, 風間浦村産業建設課 坂本幸喜 課長には, 各種生態・資源調査にご協力をいただくとともに, 本種の資源管理に向けて意見交換させていただいた。

(国研)水産研究・教育機構東北区水産研究所 岩崎俊秀 部長, 同 服部 勉 グループ長, 同 成松庸二 主任研究員, 同 柴田泰宙 研究員には, 試料魚購入における水産庁「我が国周辺水産資源調査・評価推進事業」の活用についてご理解, ご協力下さるとともに, 多くのご助言をいただいた。茨城大学 二平 章 客員研究員, (国研)水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所 米田道夫 研究員には, それぞれ北部太平洋海域および東シナ海・黄海海域における本種研究の先駆者として, 多くのご助言をいただいた。(公財)ふくしま海洋科学館・山内信弥氏, 松崎浩二氏, アクアワールド茨城県大洗水族館魚類展示課・芝洋二郎氏, 柴垣和弘氏には, 本種の水槽飼育における多くの知見についてご紹介いただいた。茨城県農林水産部漁政課 高橋正和 主査には, 茨城県の事例をもとに風間浦村の取り組みに対して多くのご助言をいただいた。

いせ源 立川博之 七代目当主には, 江戸時代から続くあんこう食文化の持続的発展に向けて意見交換させていただいた。風間浦村 富岡 宏 村長, 同 故飯田 浩一 前村長, 同 横浜 力 前々村長, ゆかい村風間浦鮫鱈ブランド戦略会議 会員諸氏, 風間浦村産業建設課 木下弘美 副参事, 青森県商工労働部地域活力振

興課 五戸彰彦 総括主幹, 同観光国際戦略局観光企画課 森 庸宏 主幹, 同農林水産部総合販売戦略課 石塚清則 主幹には, 本種の地域資源としての活用と持続的な漁村地域づくりに向けて意見交換させていただいた。平成 25 年, (公財)東北自治研修所 第 1 回主任級職員研修をともに受講した東北各県市町村職員諸氏とは, 1 ヶ月に渡る研修生活の中で, 東北地方における東日本大震災からの復興, 持続的な発展と振興に向けた地域資源の活用について熱心な議論を交わした。

(地独)青森県産業技術センター水産総合研究所 野呂恭成 所長は, 本種の標識放流調査の先駆者であり, 本研究の端緒を与えて頂くとともに, 本論文の取り纏めにも終始ご指導いただいた。奈良岡修一氏, 山口伸治氏, 今井美代子氏, 原口健二氏, 天野勝三氏, 宝多森夫氏, 小坂善信氏, 奈良賢静氏, 石川 哲氏, 中村靖人氏, 角 勇悦氏, 長崎勝康氏, 伊藤欣吾氏には, 上司として本研究へのご理解とご協力, ご指導をいただいた。青森県下北地域県民局地域農林水産部むつ水産事務所員諸氏, (地独)青森県産業技術センター水産総合研究所資源管理部員諸氏, 同試験船青鵬丸船員諸氏, 同下北ブランド研究所加工技術部員諸氏には, 調査・測定作業の補助にご協力いただいた。元 同水産総合研究所資源管理部 外部資金研究員, 現 (地独)大阪府立環境農林水産総合研究所 山中智之 研究員には, 年齢査定法と性判別法の開発に向けて多くの示唆をいただいた。

最後に, 休日・昼夜問わず研究・調査で不規則な生活を送る中, 励まし支援してくれた家族・友人に感謝と敬意を表し, 謝辞と致します。

2017 年 6 月 9 日

文献

足立堅一. らくらく生物統計学. 中山書店, 東京. 1998.

Armstrong MP, Musick JA, Colvocoresses JA. Age, growth, and reproduction of the goosefish *Lophius americanus* (Pisces: Lophiiformes). *Fish Bull US* 1992; **90**: 217–230

Armstrong MP, Musick JA, Colvocoresses JA. Food and ontogenetic shifts in feeding of the goosefish, *Lophius americanus*. *J Northw Atl Fish Sci* 1996; **8**: 99–103

阿保宗明, 本間昭郎. 現代おさかな事典 漁場から食卓まで MODERN ENCYCLOPEDIA OF FISH. エヌティーエス, 東京. 1997; 294–296

Beamish RJ, Fournier DA. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can J Fish Aquat Sci* 1981; **38**: 982–983

Bjelland O, Jónsson E, Laurenson CH, Nedreaas KH, Ofstad LH, Thangstad T. Anglerfish (*Lophius* spp.) in Nordic waters. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2006

Campana SE. How reliable are growth back-calculations based on otoliths? *Can J Fish Aquat Sci* 1990; **47**: 2219–2227

Campana SE. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J Fish Biol* 2001; **59**: 197–242

Campana SE, Annanda MC, McMillana JI. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Trans Am Fish Soc* 1995; **124**: 131–138

- Caruso JH. Sexual dimorphism of the olfactory organs of lophiids. *Copeia* 1975; 380–381
- Choi JH, Sung BJ, Lee DW, Kim JB, Oh TY, Kim JN. Feeding habits of yellow
goose fish *Lophius litulon* and John dory *Zeus faber* in the South Sea of
Korea. *Fish and Aqua Sci* 2011; 14: 435–441
- Clay D. A comparison of different methods of age determination in the
sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *J Lim Soc South Africa* 1982; 8:
61–70
- 独立行政法人水産総合研究センター. 水産資源解析マニュアル. 独立行政法人水
産総合研究センター, 東京. 2014
- Duarte R, Landa J, Quincoces I, Dupouy H, Bilbao E, Dimeet J, Marçal A,
McCormick H, Chonchuir NG. Anglerfish Ageing Guide, In: Landa J,
Duarte R, Quincoces I, Dupouy H, Bilbao E, Dimeet J, Lucio P, Marçal
A, McCormick H, Ni Chonchuir G (eds). *Report of the 4th international
ageing workshop on European anglerfish*, 2002; 1–22
- Gordoa A, Macpherson E. Food selection by a sit-and-wait predator, the
monkfish, *Lophius uspicephalus*, off Namibia (South West Africa).
Environ Biol Fish 1990; 27: 71–76
- 花輪公雄, 安中さやか. 海面水温で検出した 20 世紀のレジームシフト. 水産海洋研
究 2004; 68: 255
- 平松一彦. 国際会議で用いられる資源評価手法について-VPA とプロダクションモデ
ルの現状. 水産資源管理談話会報, 1996; 15: 3–24
- 平松一彦. VPA (Virtual Population Analysis). 「平成 12 年度資源評価体制確立

- 推進事業報告書—資源解析手法教科書—(田中昌一, 青木一郎, 赤嶺達郎, 一丸俊雄, 岸田 達, 高場 稔, 田中栄次, 福田雅明, 谷津明彦, 由木雄一, 和田時夫編) 社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 2001; 104–128
- 堀 義彦. 茨城県のキアッコウについて. 200 カイリ水域内漁業資源総合調査, 第14回東北海区底魚研究チーム会議報告. 東北区水産研究所八戸支所, 八戸. 1993; 43–47
- 星野尚重, 市毛清記, 鈴木正伸, 山口安男, 豊島征司. キアッコウの飼育試験及び栽培漁業対象種としての検討. 茨城水試研報 2006; 40: 11–28
- 池川正人, 根本芳春, 安岡真司. 福島県海域のキアッコウの漁獲実態と生態について. 東北底魚研究 2000; 20: 29–35
- 生田和正, 会田勝美. 6 産卵回遊. 「回遊魚の生物学」(森沢正昭, 会田勝美, 平野哲也編), 学会出版センター, 東京. 1987; 72–89
- 今村 豊, 永峰文洋. 資源評価調査委託事業・資源管理基礎調査事業(日本海・太平洋定線観測. 平成 27 年度青森県産業技術センター水産部門事業概要年報 2016; 27–30
- 井嶋浩貴. 平成 27 年度国際漁業資源の現況. クロカジキ 太平洋, 水産庁・水産総合研究センター, 東京. 2016; 27: 1–4
- 伊藤欣吾. 日本海～陸奥湾における水温と主要魚種漁獲量の推移. 青森県水産研究情報”水と漁” 2013; 14: 1–2
- 岩崎高資, 吉田哲也, 千代窪孝志, 佐藤美智男. 福島県で水揚げされるキアッコウについて. 福島県水産試験場研究報告 2010; 15: 11–25
- 河野光久. 日本海南西海域におけるキアッ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
2010a; 8: 31–36
- 河野光久. 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
ンコウ資源解析の試み. 山口県水産研究センター研究報告 2010b; 8: 37–43
- 河野光久. 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 2011; 9: 115–118
- 川崎 健. 私の歩んだ道 第 5 回. 水産海洋研究 2016a; 80: 101–106
- 川崎 健. 私の歩んだ道 第 6 回. 水産海洋研究 2016b; 80: 187–192
- 木村清志. 新魚類解剖図鑑, 緑書房, 東京. 2010; 124–128
- 北沢菜穂子, 山本章太郎. 小田原地先で漁獲されたキアンコウ (*Lophius litulon*)
の短期移動について. 神奈川県水産研究所研究報告 2002; 7: 43–46
- 甲本亮太, 飯田新二, 山田潤一, 小笠原誠, 高田芳博, 珍田尚俊, 天野長兵衛, 吉
田正勝, 佐藤正則, 船木勝美. ハタハタの資源管理と活用に関する研究. 平成
27 年度秋田県水産振興センター業務報告書 2016; 38–79
- 小坂昌也. キアンコウの食生活. 東海大学紀要 1966; 1: 51–70
- 黒田 寛, 戸谷夕子. 13. 日本周辺亜寒帯域における近年の海況変動. 水産海洋
研究 (印刷中)
- 増田辰良. 二・三魚類の鰭條に現われる年齢形質について. 魚類学雑誌 1950; 1:
295–299
- 松谷紀明. 重要魚類資源モニタリング調査. 青森県産業技術センター水産総合研究
所事業報告 2017; 5–23
- Maurer RO, Bowman RE, Food habits of marine fishes of the Northwest

- Atlantic-data report. NMFS, Northeast Fisheries Center Laboratory
Manual 1975; 90 pp
- Mcfarlane GA, Beamish RJ. Validation of the dorsal spine method of age
determination for spiny dogfish. In: Summerfelt RC, Hall GE (eds). *Age
and Growth of Fish*. Iowa State University Press, Ames, 1987; 287–300
- Meehl GA, Aixue HU, Haiyan T. Initialized decadal prediction for transition
to positive phase of the Interdecadal Pacific Oscillation. *Nature Com*,
2016, 7
- 見延庄士郎. 長期変動とレジーム・シフト, 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウ
ム「気候–海洋–海洋生態系のレジーム・シフトの実態とメカニズム解明へのアプ
ローチ(2002年6月26–28日)要旨」2002; 5
- 水戸 敏. 日本近海に出現する浮游性魚卵–X タラ目およびアンコウ目. 魚類学雑
誌 1963; 11: 103–113
- 文部科学省. 日本食品標準成分表 2015年版(七訂). 文部科学省, 東京. 2015
- 中原民男. 山口県沖合大陸棚に分布する重要底魚類の漁業生物学的特性. 山口外
海水試研究報告 1969; 11; 1–67
- 二平 章, 高橋正和. 茨城県におけるキアンコウの資源動向. 平成 12 年度茨城県水
産試験場事業報告 2001; 165–178
- 二平 章. キアンコウの資源変動と管理方策. 平成 13 年度茨城県水産試験場事業
報告 2003; 205–209
- 二平 章. 本州太平洋北部および日本海北部における底魚類の資源変動. 水産海
洋研究 2004; 68: 268–269

- 野呂恭成, 今村 豊. 青森県沿岸におけるキアンコウの漁獲状況と標識放流. 東北底魚研究 2006; **26**: 55–61
- 野呂恭成, 竹谷裕平. 青森県沿岸におけるキアンコウの漁獲状況と標識放流(その2). 東北底魚研究 2009; **29**: 2–6
- 大澤 正, 鈴木裕之. 山形県沿岸域におけるキアンコウの成長. 日本海ブロック試験研究集録 2009; **44**: 32–33
- 杉山秀樹. 秋田県におけるハタハタの漁業管理・3年間の全面禁漁と県 TAC の導入(シンポジウム TAC 制度と北海道・東北の沖合沿岸漁業). 北日本漁業 1998; **26**: 9–14
- Park JM, Huh SH, Jeong JM, Baeck GW. Diet composition and feeding strategy of yellow goosfish, *Lophius litulon* (Jordan, 1902), on the southeastern coast of Korea. *J Appl Ichthy* 2014; **30**: 151–155
- Pauly D, Munro JL. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte* 1984; **2**:1
- Peabody FE. Annual growth zones in living and fossil vertebrates. *J Morphol* 1961; **108**: 11–62
- Pinkas L, Oliphant M, Iverson ILK. Food habitats of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *Fish Bull* 1971; **152**: 1–139
- Pope JG. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *ICNAF Res Bull*, 1972; **9**: 65–74
- 佐藤晋一. 津軽海峡における水温の長期変動. 青森県水産総合研究センター研究報告 2009; **6**, 9–13

Secor DH. Atlantic sturgeon fisheries and stock abundances during the late nineteenth century. In: American Fisheries Society Symposium. American Fisheries Society, 2002; 89–100

柴田泰宙, 服部 務, 成松庸二. 平成 28(2016)年度キアンコウ太平洋北部の資源評価. 平成 28 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第 2 分冊, 水産庁増殖推進部・水産研究・教育機構, 東京. 2017; 1025–1043

水産庁増殖推進部, (国研)水産研究・教育機構. 平成 28(2016)年度 ABC 算定のための基本規則. 東京. 2017

Smith C, Reay P. Cannibalism in teleost fish. *Rev Fish Biol Fish* 1991; 1: 41–64

Sokal RR, Rohlf FJ. 生物統計学(藤井宏一訳). 共立出版, 東京. 1983

竹谷裕平. キアンコウ (*Lophius litulon*) 筋肉の自由水除去による冷凍技術の改善. 下北ブランド研究所試験研究報告 2014; 11: 29–38

竹谷裕平. あんこうの流通と地域ブランド化の可能性(第 43 回大会シンポジウム 地域漁業の再生と沿岸漁業政策)–(ミニシンポジウム 青森県の漁業生産の現状と新たな展開). 北日本漁業 2015a; 43: 40–42

竹谷裕平. 津軽海峡におけるキアンコウの適水温と 2014 年 2 月に発生した低水温の影響. 東北底魚研究 2015b; 35: 2–4

竹谷裕平, 三浦太智. 下北地域魅力ある漁業づくり推進事業. 平成 28 年度青森県産業技術センター水産部門事業概要年報 2017(印刷中)

竹谷裕平, 佐藤慶之介, 中村靖人. キアンコウ (*Lophius litulon*) の出荷前蓄養及び活締め処理, 魚体温度管理による鮮度保持技術の開発. 下北ブランド研究所

試験研究報告 2014; **12**: 7–16

田村 保, 丹羽 宏. 深海の魚. 化学と生物 1986; **24**, 326–333

田中 彰. タロウザメの背鰭棘の構造と年齢形質としての有効性の検討. 日本水産学会誌 1990; **56**: 903–909

田中昌一. 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海区水産研究所報告, 1960, **28**: 1–200

Taylor CC. Cod growth and temperature. *J du Cons*, 1958; **23**, 366–370

Tsimenidis NC, Ondrias JC. Growth studies on the angler-fishes *Lophius piscatorius* L., 1758 and *Lophius budegassa* Spinola, 1807 in Greek waters. *Thalassographica* 1980; **2**: 63–94

塚本勝巳. 通し回遊魚の起源と回遊メカニズム. 川と海を回遊する淡水魚-生活史と進化, 出版地, 1994; 2–17

塚本勝巳. ウナギ回遊生態の解明(平成 17 年度日本水産学会賞受賞). 日本水産学会誌, 2006; **72**: 350–356

van der Waal BCW, Schoonbee HJ. Age and growth studies of *Clarias gariepinus* (Burchell) (Clariidae) in the Transvaal, South Africa. *J Fish Biol* 1975; **7**: 227–234

和田恵子・時村宗春. チューニング VPA について(総特集 水産資源の管理と保全) —(2 章 水産資源管理の諸研究). 号外海洋, 1999, **17**: 81–86

山田梅芳, 時村宗春, 堀川博史, 中坊徹次. 東シナ海・黄海の魚類誌. 東海大学出版会, 秦野, 2007; 331–338

谷津明彦. 我が国における TAC 魚種の ABC 算定の現状と将来展望. 水産資源管

理談話会報, 2000; **23**: 15–35

Yoneda M, Tokimura M, Fujita H, Takeshita N, Takeshita K, Matsuyama M, Matsuura S. Age and growth of anglerfish *Lophius litulon* in the East China Sea and the Yellow Sea. *Fish Sci* 1997; **63**: 887–892

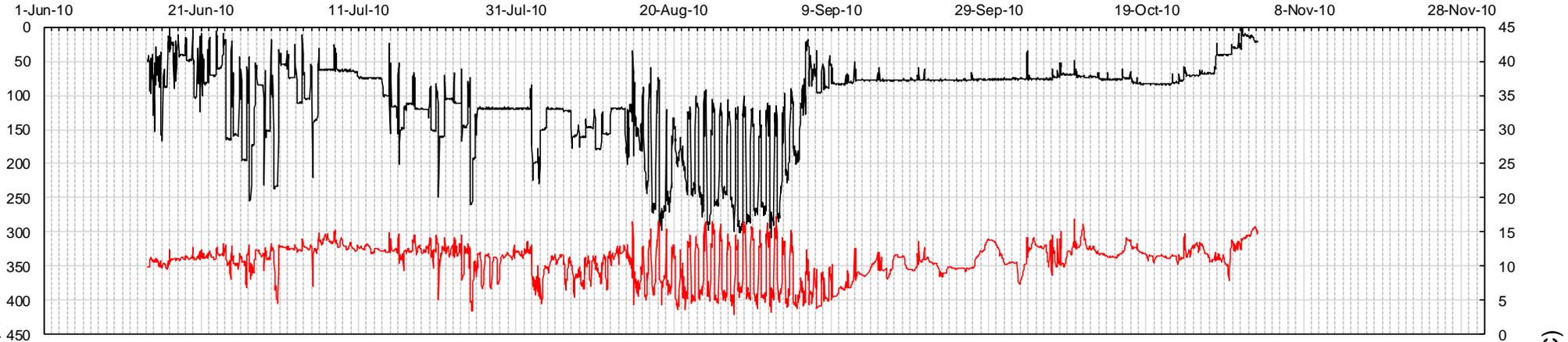
Yoneda M, Tokimura M, Fujita H, Takeshita N, Takeshita K, Matsuyama M, Matsuura S. Reproductive cycle, fecundity, and seasonal distribution of the anglerfish *Lophius litulon* in the East China and Yellow Seas. *Fish Bull* 2001; **99**: 356–370

Yoneda M, Tokimura M, Horikawa H, Yamamoto K, Matsuyama M, Matsuura S. Spawning migration of the anglerfish *Lophius litulon* in the East China and Yellow Seas. *Fish Sci* 2002; **68**: 310–313

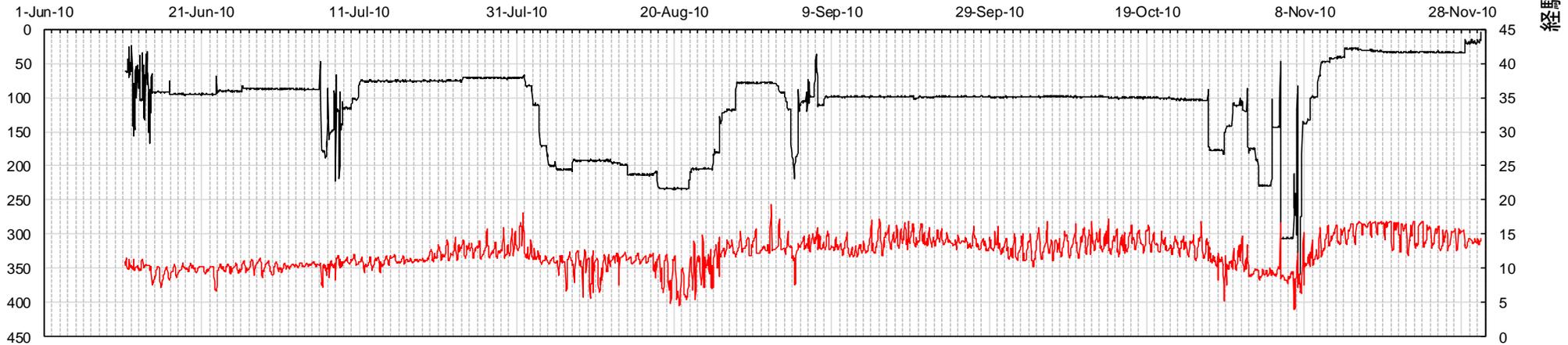
米田道夫. 東シナ海産アンコウとキアンコウの生殖および分布・移動. 東北底魚研究 2006; **25**: 72–75

(a)

年月日



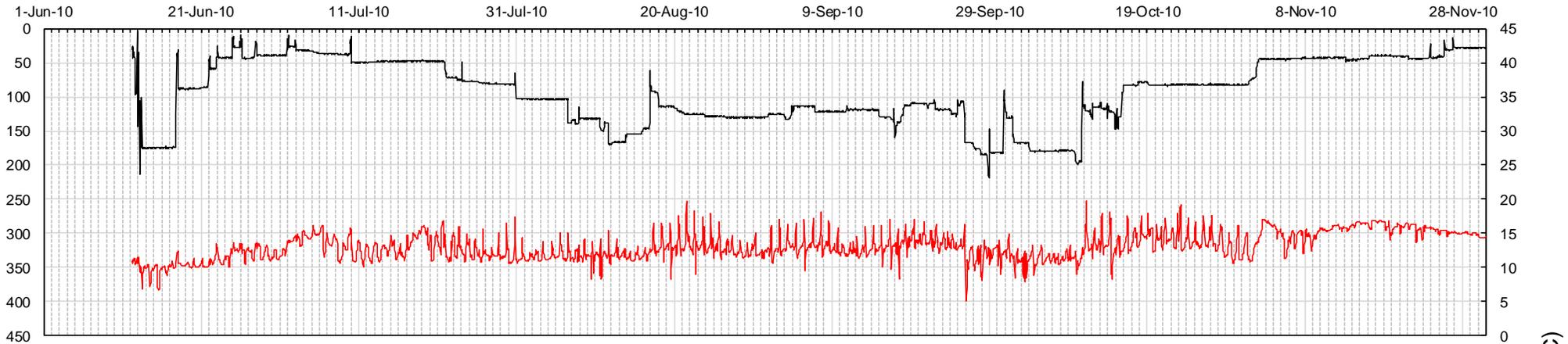
(b)



付図2-2-1(1) 再捕されたデータロガー装着キアンコウ *Lophius litulon* から得られた生息水深と経験水温の全データ. 黒線が生息水深, 赤線が経験水温はそれぞれ示す.

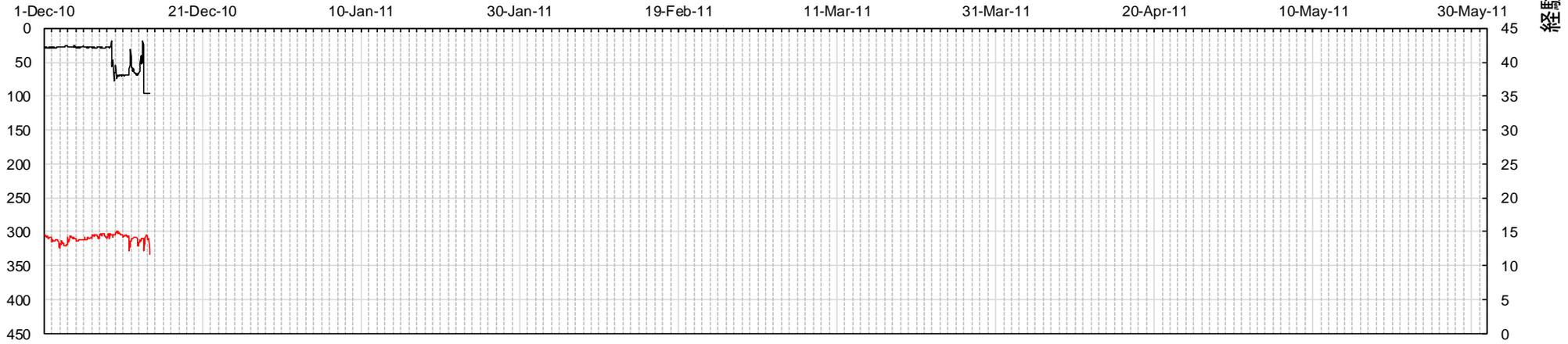
(c)-1

年月日



(c)-2

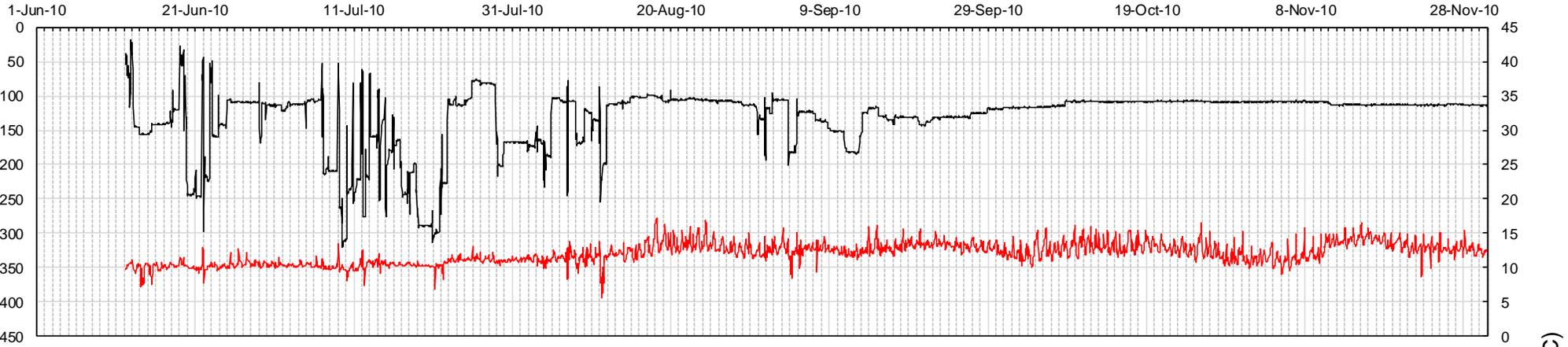
経験水温 (°C)



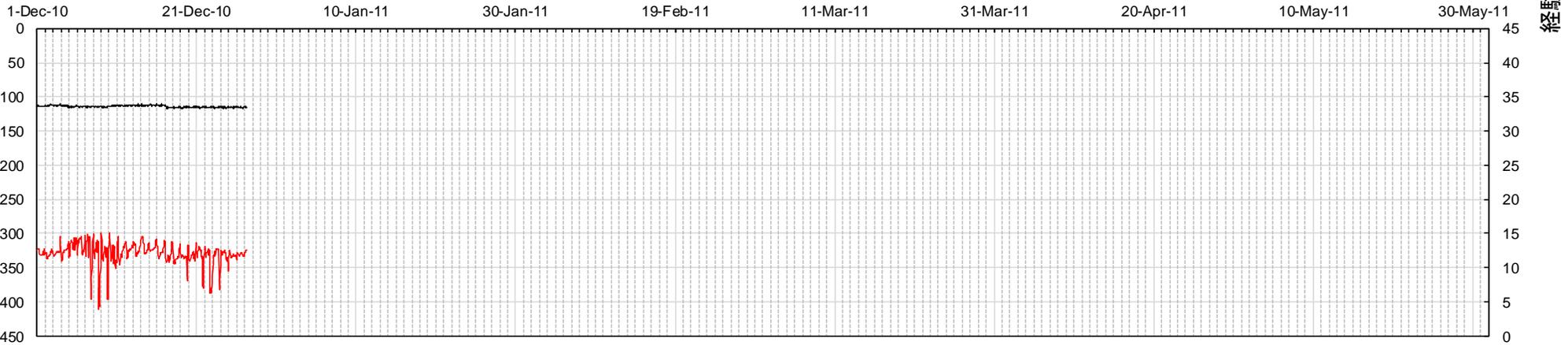
付図2-2-1(2)

(d)-1

年月日



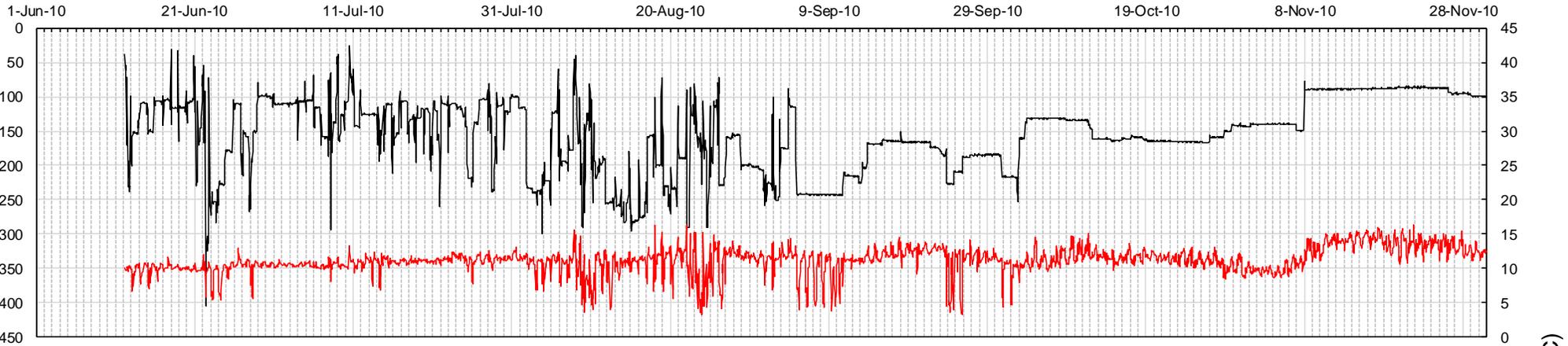
(d)-2



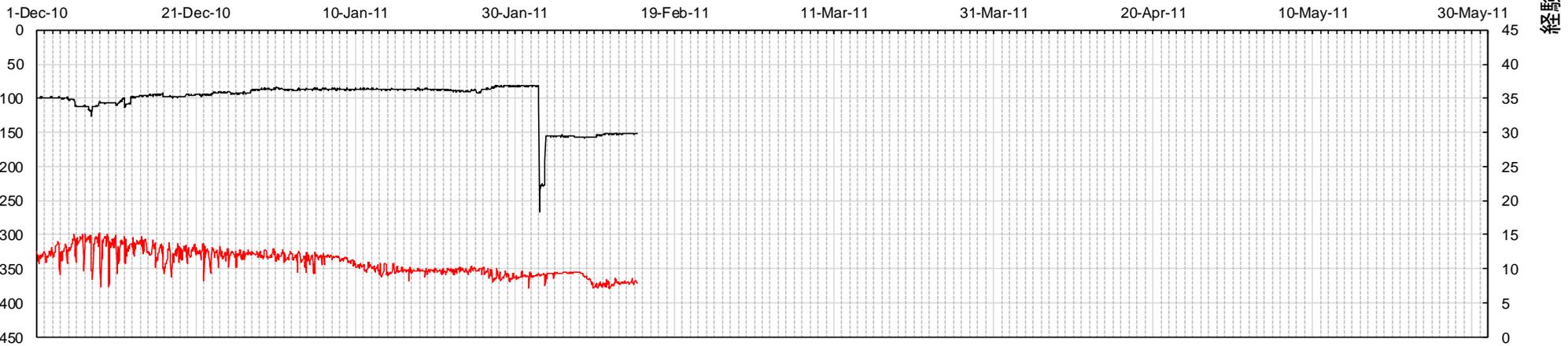
付図2-2-1(3)

(e)-1

年月日



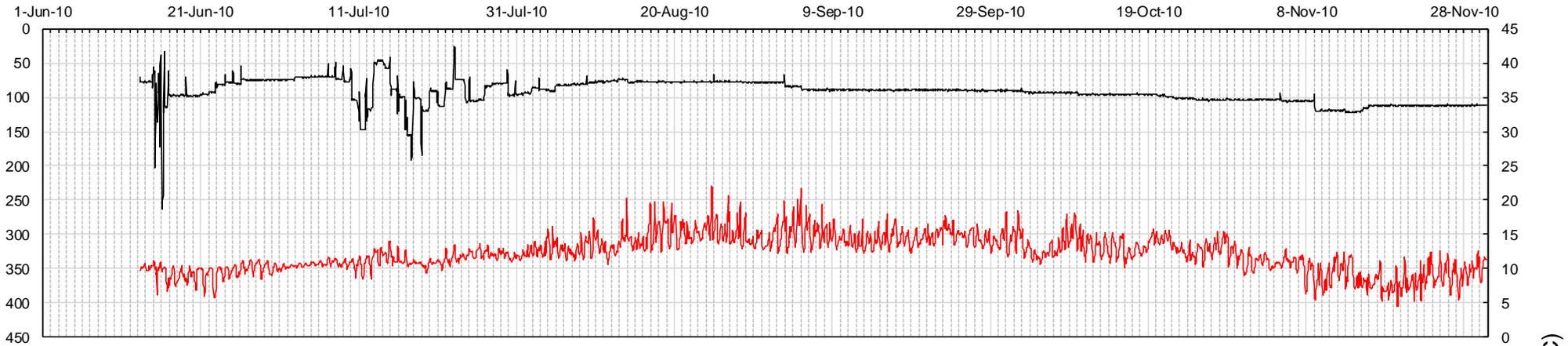
(e)-2



付図2-2-1(4)

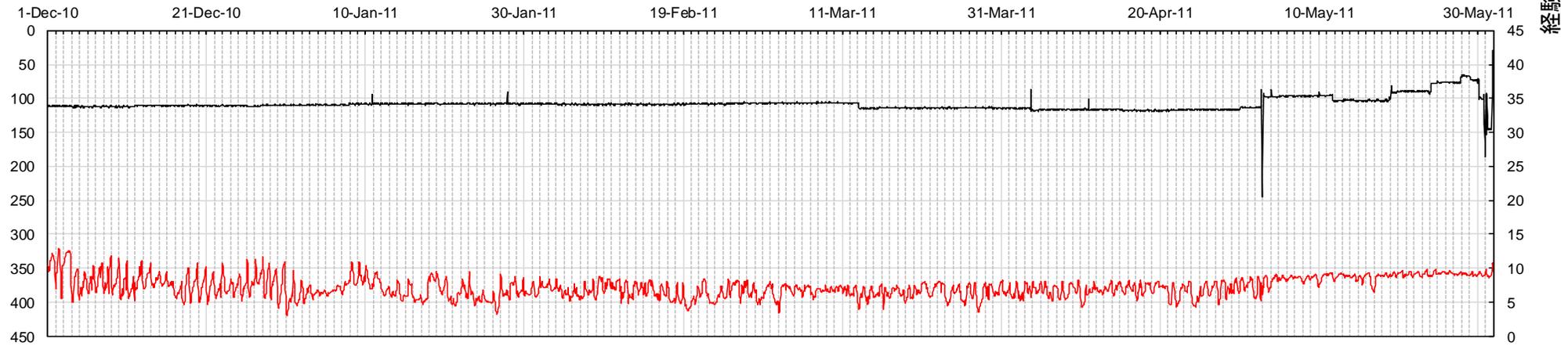
(f)-1

年月日



(f)-2

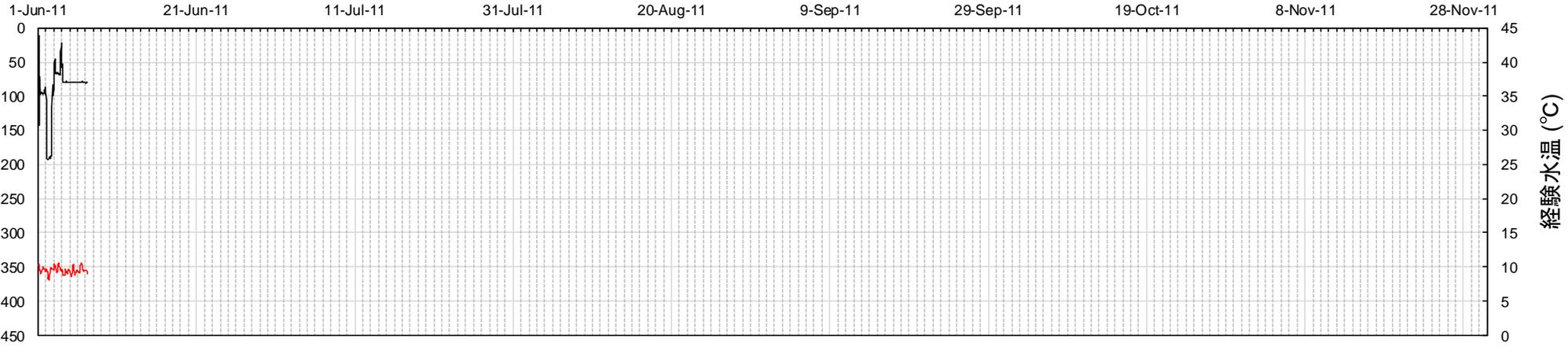
経緯水温 (°C)



付図2-2-1(5)

(f)-3

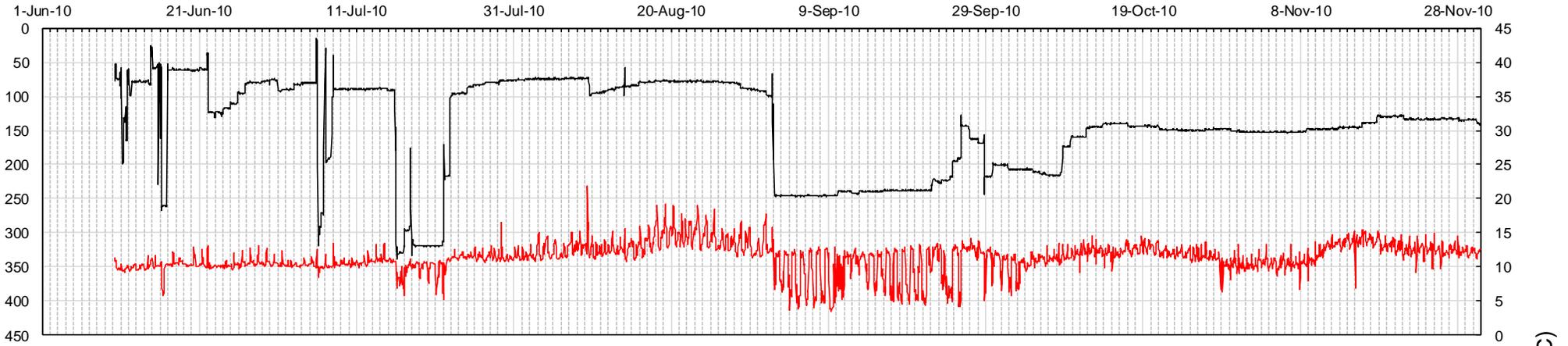
年月日



付図2-2-1(6)

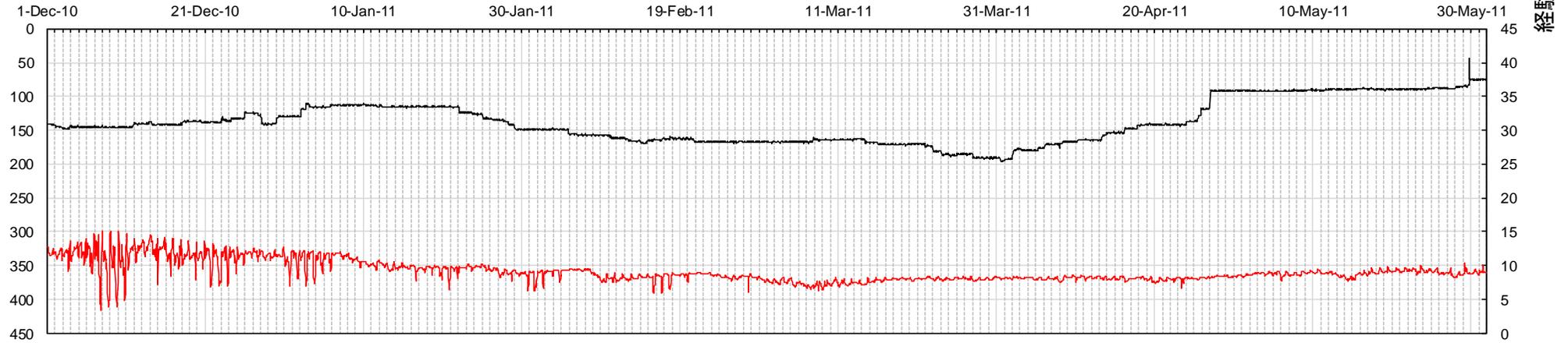
(g)-1

年月日



(g)-2

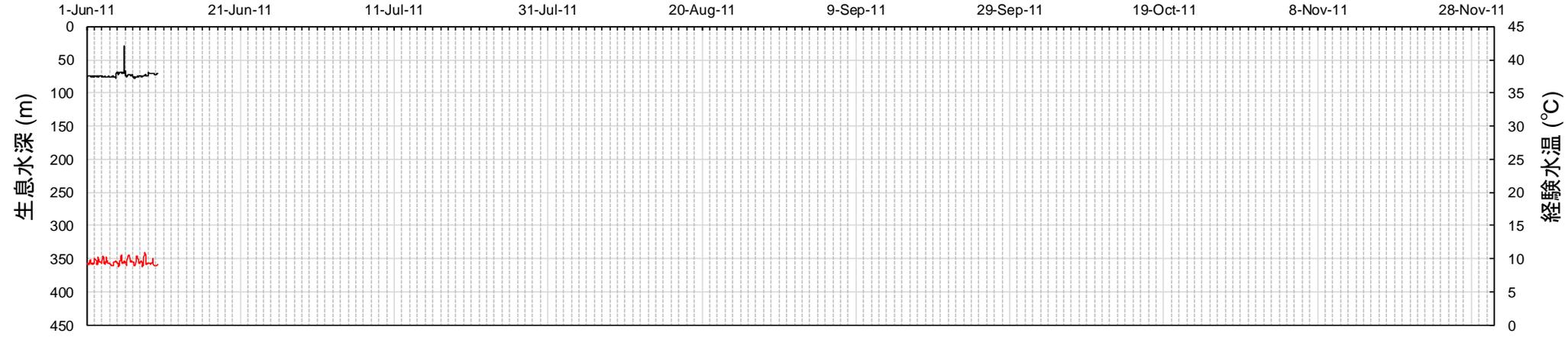
経験水温 (°C)



付図2-2-1(7)

(g)-3

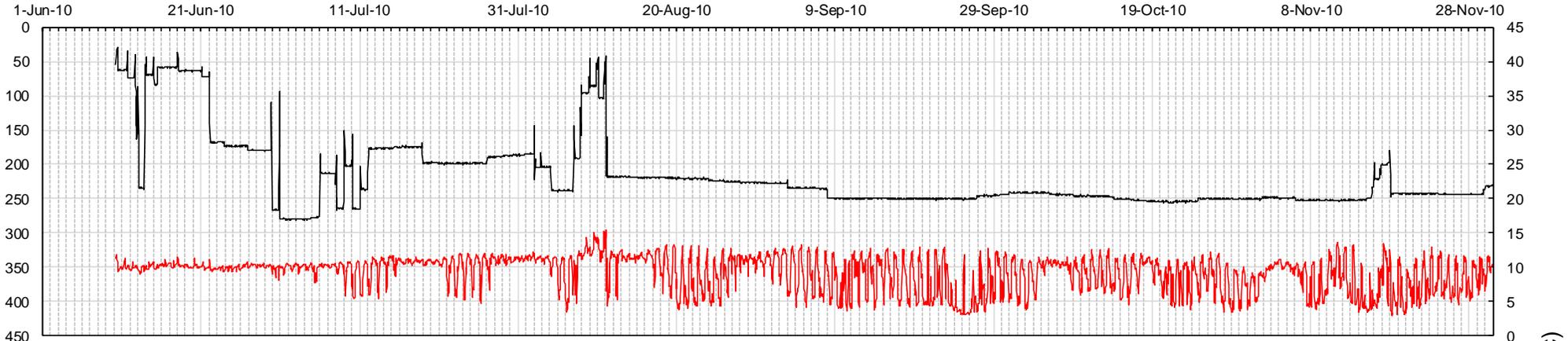
年月日



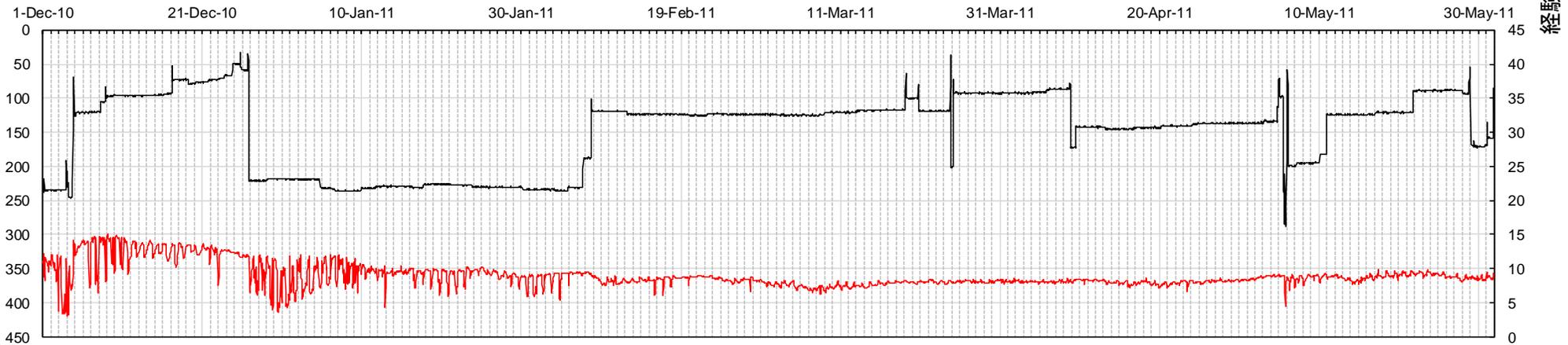
付図2-2-1(8)

(h)-1

年月日



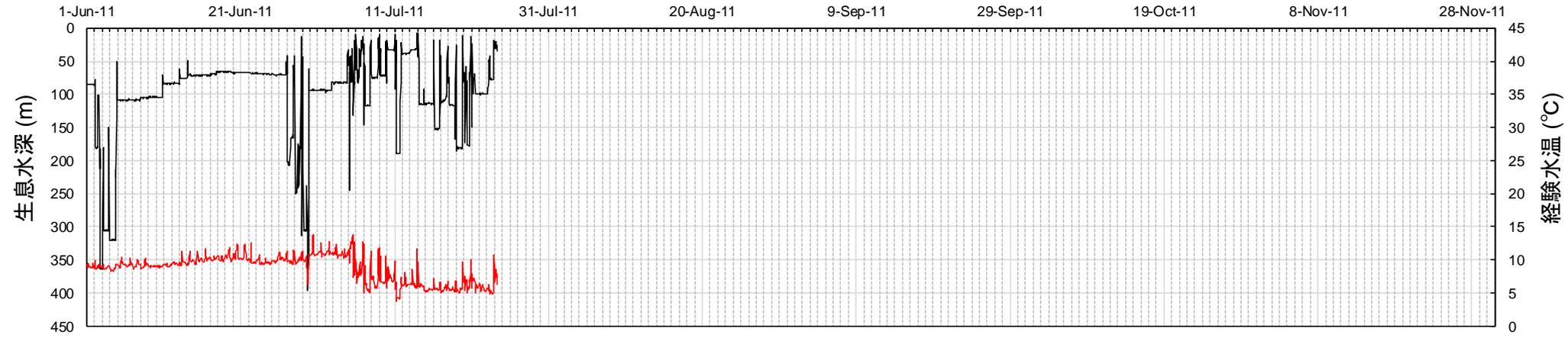
(h)-2



付図2-2-1(9)

(h)-3

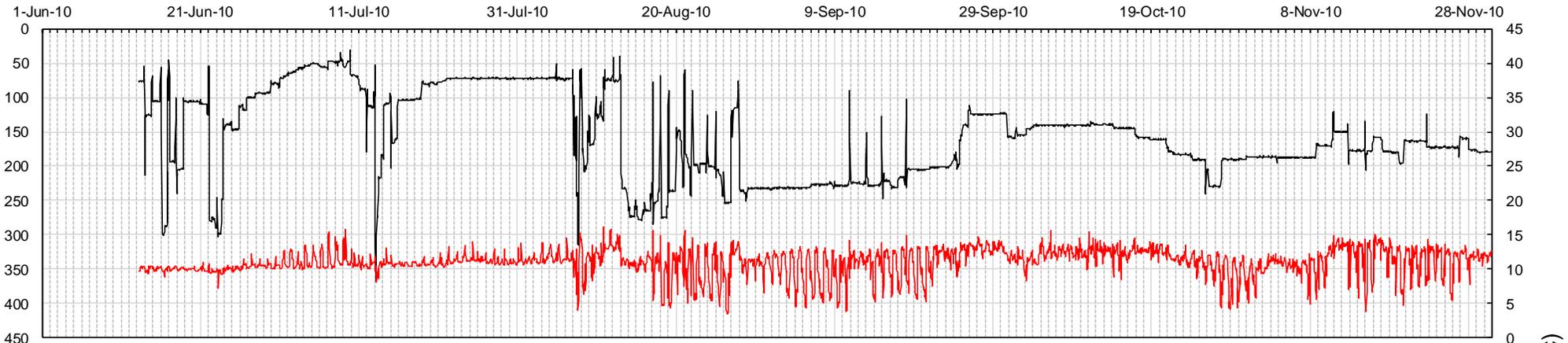
年月日



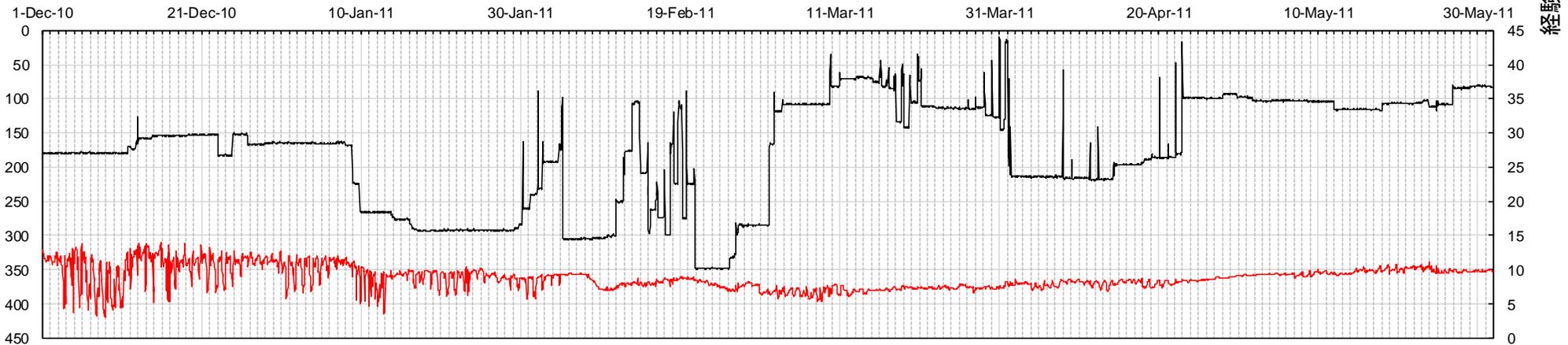
付図2-2-1(10)

(i)-1

年月日



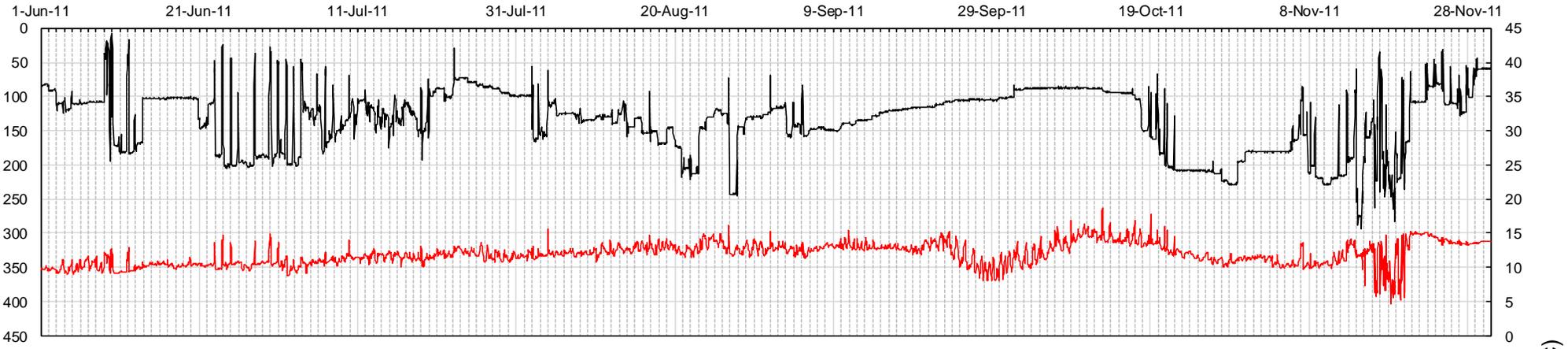
(i)-2



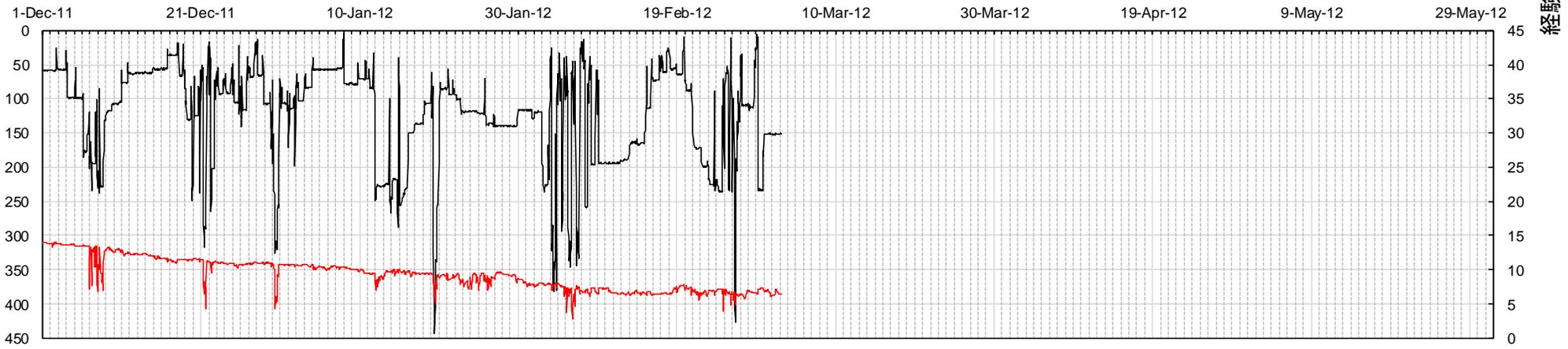
付図2-2-1(11)

(i)-3

年月日



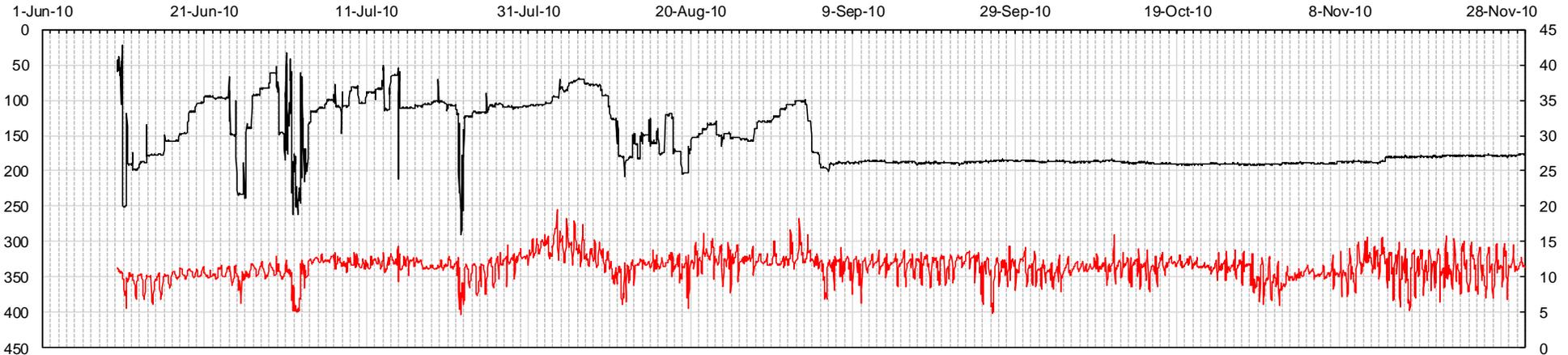
(i)-4



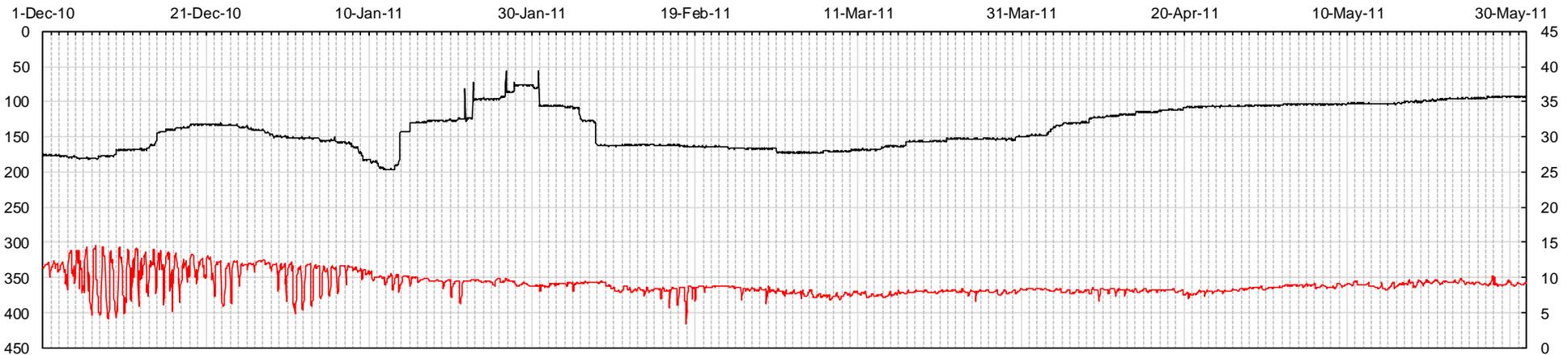
付図2-2-1(12)

(j)-1

年月日



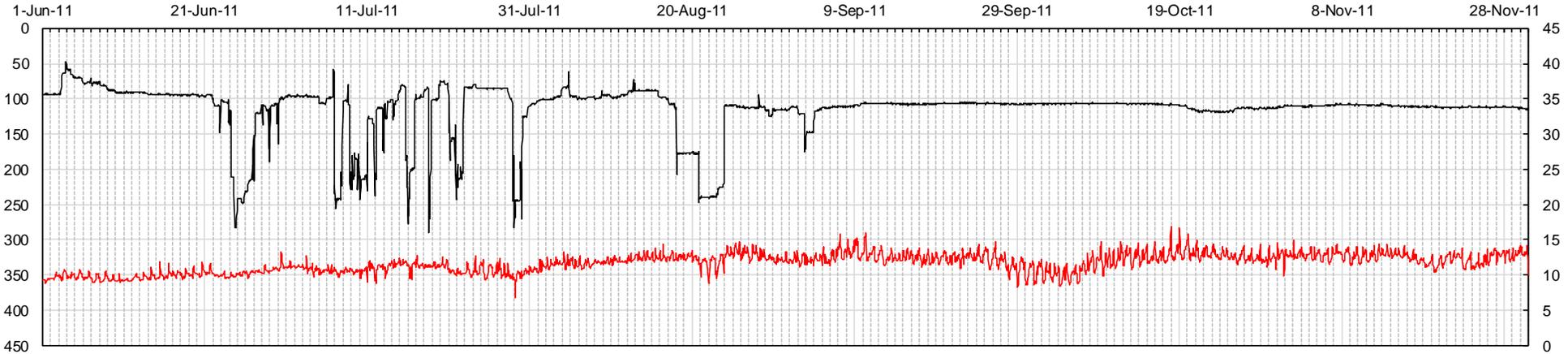
(j)-2



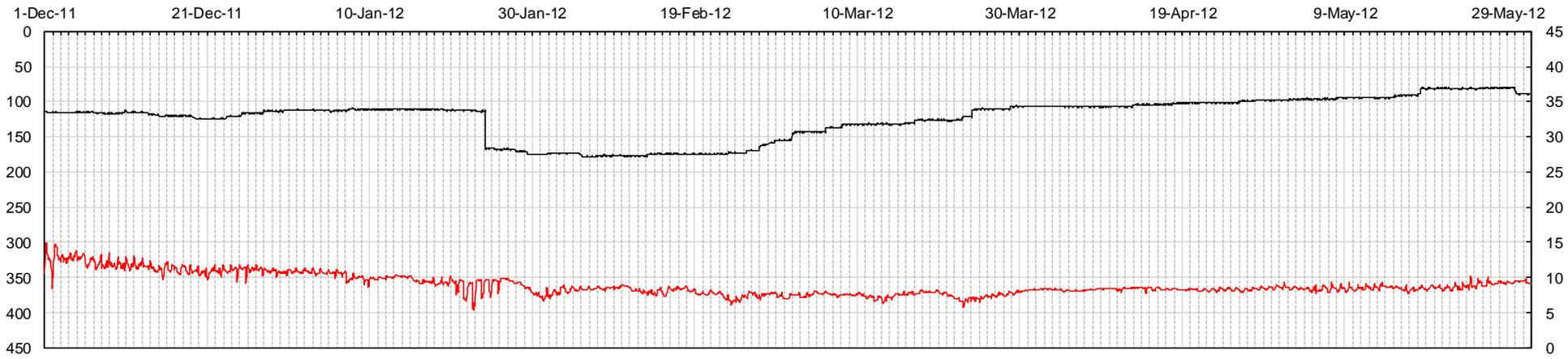
付図2-2-1(13)

(j)-3

年月日



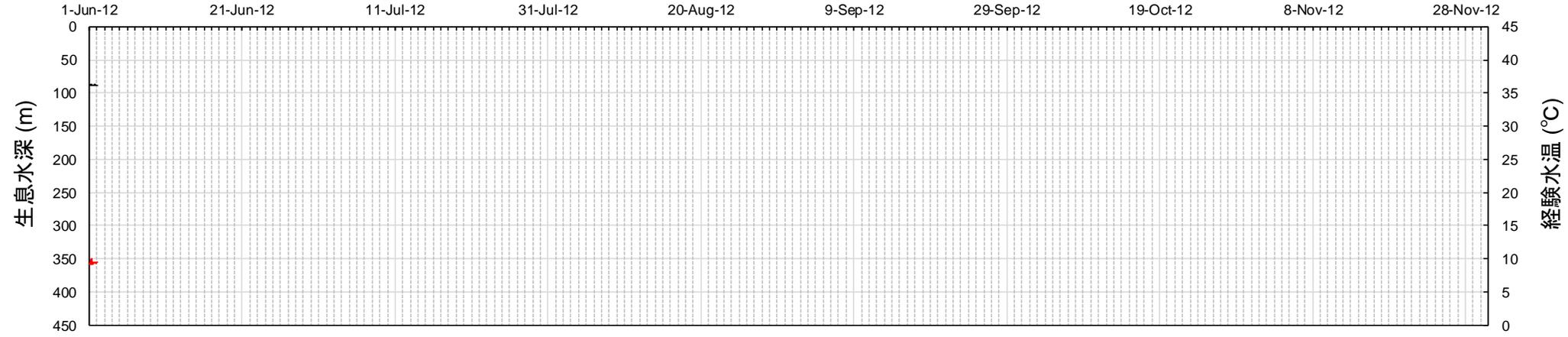
(j)-4



付図2-2-1(14)

(j)-5

年月日



付図2-2-1(15)

付表3-1. キアンコウ *Lophius litulon* の食性と栄養状態に関する既往知見

海域	餌生物		文献
	魚類	その他	
仙台湾	イカナゴ, カタクチイワシ, マアナゴ, マサバ, マガレイ等		小坂(1966)
福島県海域	(10 cm SL未満)サラサガジやエゾイソアイナメの小型魚	甲殻類	岩崎(2010)
	(20 cm SL以上)カタクチイワシやイカナゴを捕食し始め, 成長に伴いタラ類やカレイ類等の大型魚		
日本海南西海域	ニギス, カタクチイワシ, カレイ類, アカムツ, 円口類		中原(1969)
	カレイ・ヒラメ類, カタクチイワシ, アカムツ, ワニギス, キダイ	エビジャコ類等の甲殻類 やイソギンチャク類	河野(2011)
黄海	クサウオ, カタクチイワシ, マアナゴ, シログチ, コモチジャコ等		山田ほか(2007)
韓国沿岸	底魚類	甲殻類	Choi <i>et al.</i> (2011), Park <i>et al.</i> (2014)

付表4-1-1. 背鰭第一棘を採取したキアコウ *Lophius litulon* の詳細

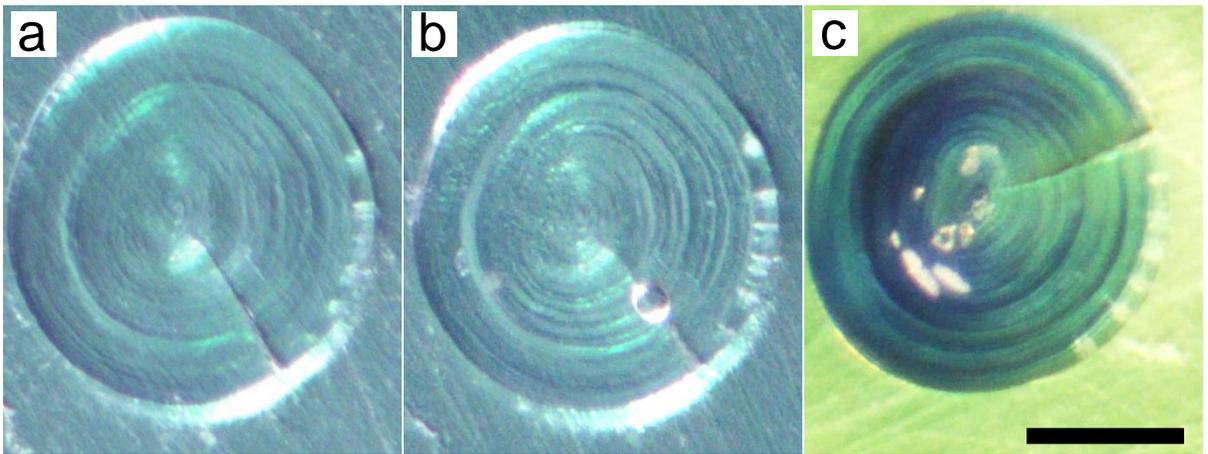
採集年月	試料魚数										全長範囲 (mm)						
	日本海		津軽海峡				太平洋		合計								
	底曳網		底建網		刺網		底曳網			F*	M*						
	F*	M*	F*	M*	F*	M*	F*	M*									
Nov., 2013							1	1	2		362	-	367				
Jan., 2014	1								1	418							
Apr.	1	1							2	512	445						
May	1								1	509							
June		7		6	4				17	780 - 1,070	327	-	750				
July	1	4							5	225 - 225	205	-	555				
Oct.	2	2				1	3	6	3	17	179 - 431	177	-	490			
Nov.	4	1								5	235 - 438	475					
Jan., 2015	1			19						20	412 - 1,140						
Feb.		1		12	3			6	3	25	535 - 870	386	-	610			
Mar.				9	1					10	500 - 880	600					
Apr.	4	4		1						9	225 - 860	230	-	400			
May	4			7	3	1	4	3		22	239 - 855	428	-	644			
June	4	2			2					8	250 - 350	295	-	711			
July	1	3	2	1						7	200 - 872	286	-	573			
Sep.	7	3				4	6			20	291 - 634	282	-	424			
Oct.	1							2	1	4	358 - 581	342	-	342			
Nov.		2				1		6	7	16	170 - 635	160	-	415			
Dec.								6	9	15	330 - 395	315	-	394			
Total	32	30	2	0	55	13	7	14	29	24	206	170	-	1,140	160	-	750

*F: 雌, M: 雄.

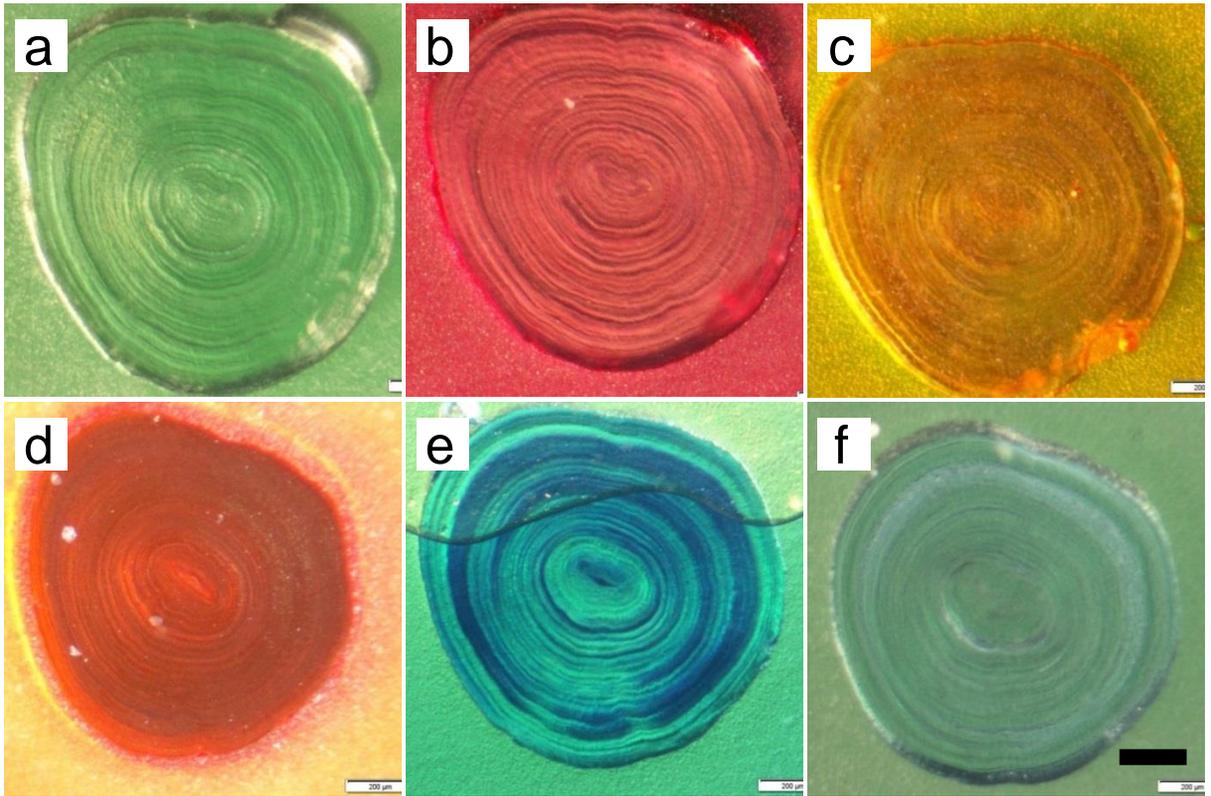
付表4-1-2. 椎体を採取したキアンコウ *Lophius litulon* の詳細

採集年月	試料魚数										全長範囲 (mm)						
	日本海		津軽海峡				太平洋		合計								
	底曳網		底建網		刺網		底曳網			底曳網		F*	M*				
F*	M*	F*	M*	F*	M*	F*	M*	F*	M*								
Jan., 2014	1										1	418					
Apr.	1										1	512					
May	1										1	509					
June		7									7		327	-	566		
July	1	2									3	225	-	225	205	-	482
Oct.							1	3	6	3	13	179	-	431	177	-	471
Nov.	4	1									5	235	-	438	475		
Jan., 2015	1										1	412					
Feb.		1							6	3	10	540	-	631	386	-	610
Apr.	1	3	8	2							14	235	-	1,013	230	-	672
May	3	1			7	3		1			15	270	-	1,105	489	-	644
June									4	3	7	610	-	680	600	-	700
July	1	3	2		1						7	200	-	872	286	-	573
Sep.	7	2					4	6			19	291	-	634	282	-	424
Nov.		2					1		4	6	13	170	-	635	160	-	415
Dec.									6	9	15	330	-	395	315	-	394
Jan., 2016									9	11	20	340	-	410	292	-	415
Mar.					11	3					14	576	-	755	560	-	634
Total	21	22	10	2	19	6	6	10	35	35	166	170	-	1,105	160	-	700

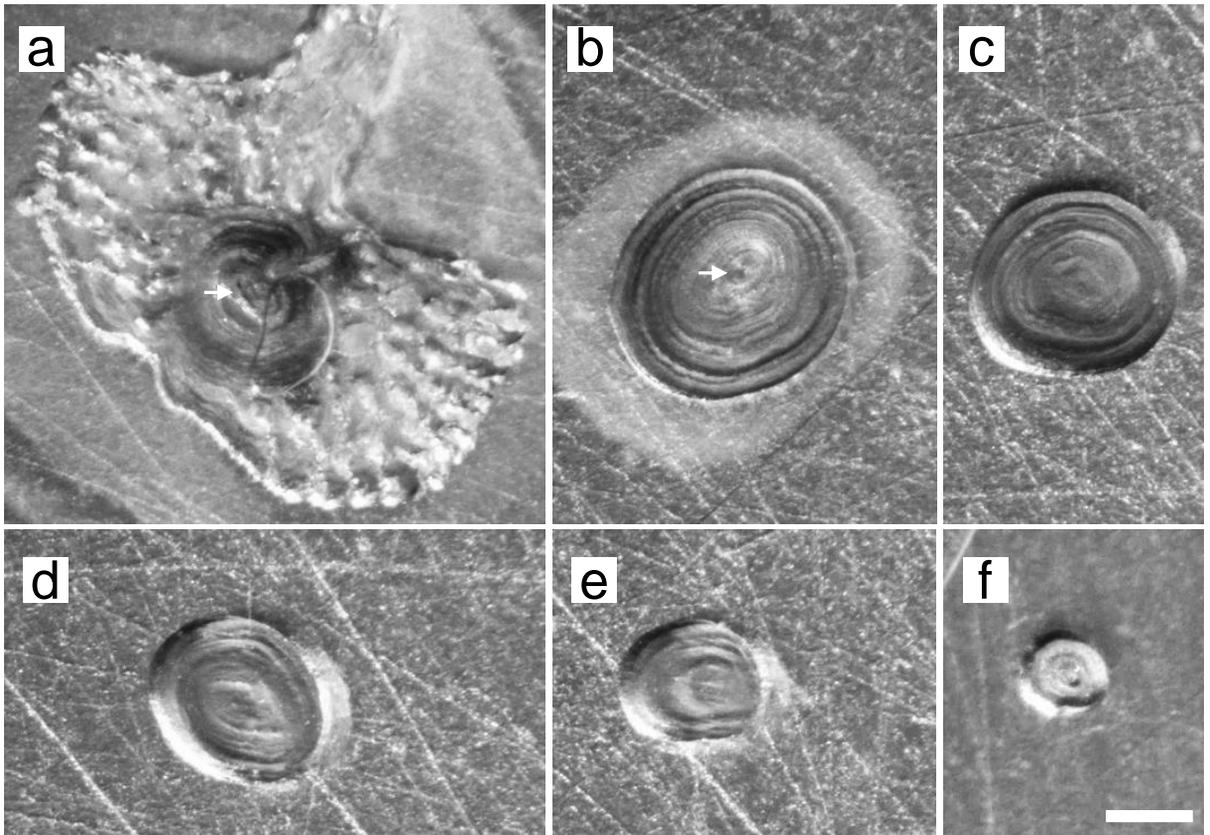
*F: 雌, M: 雄.



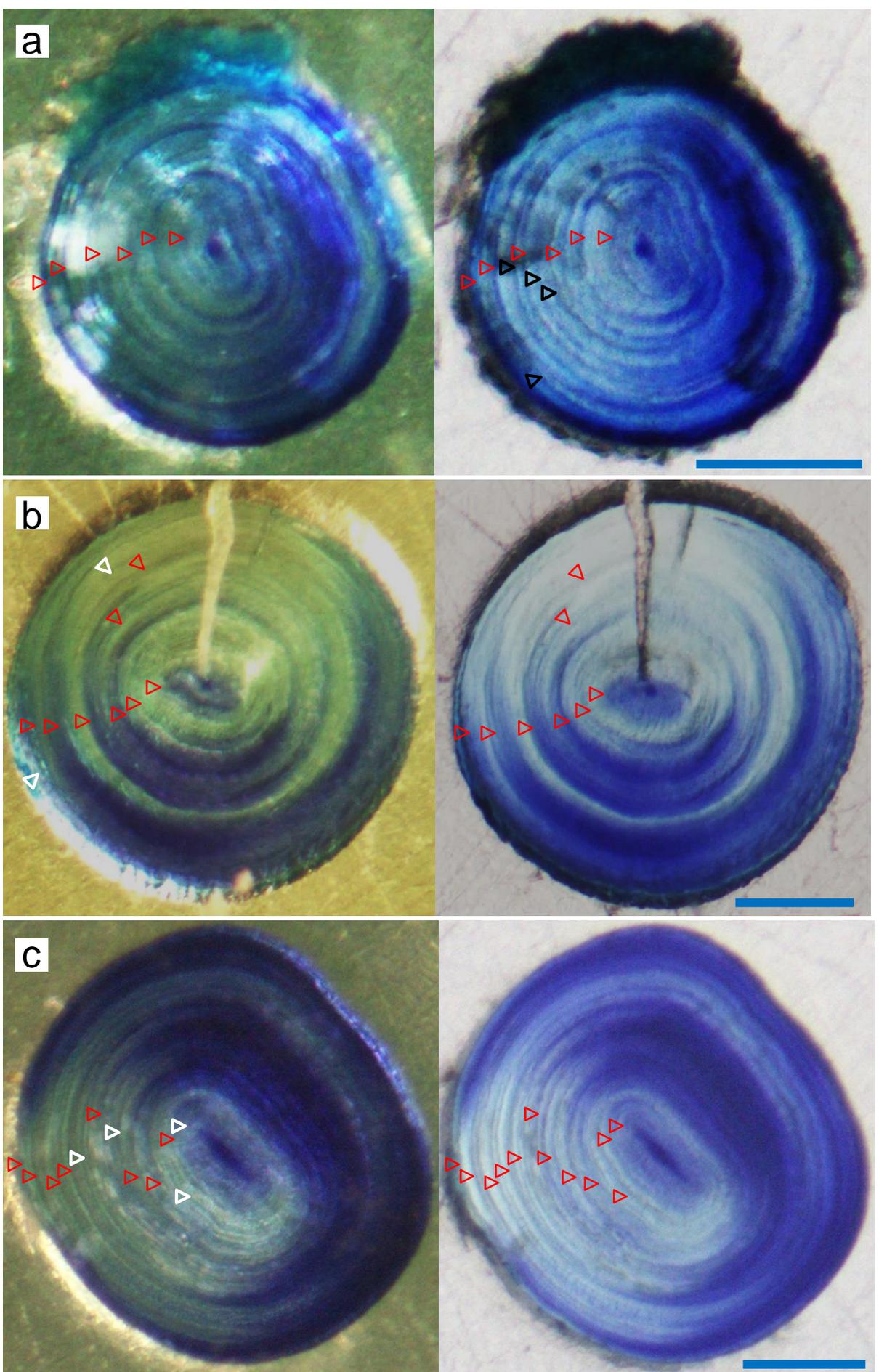
付図4-1-1 キアンコウ *Lophius litulon* (475 mm TL, 日本海で2014年11月18日採集) 背鰭第一棘の横断面。(a)未処理, (b)1N塩酸で30秒間エッチングしたもの, (c)メチレンブルー染色液で4時間染色したもの. スケールバーは200 μm を示す.



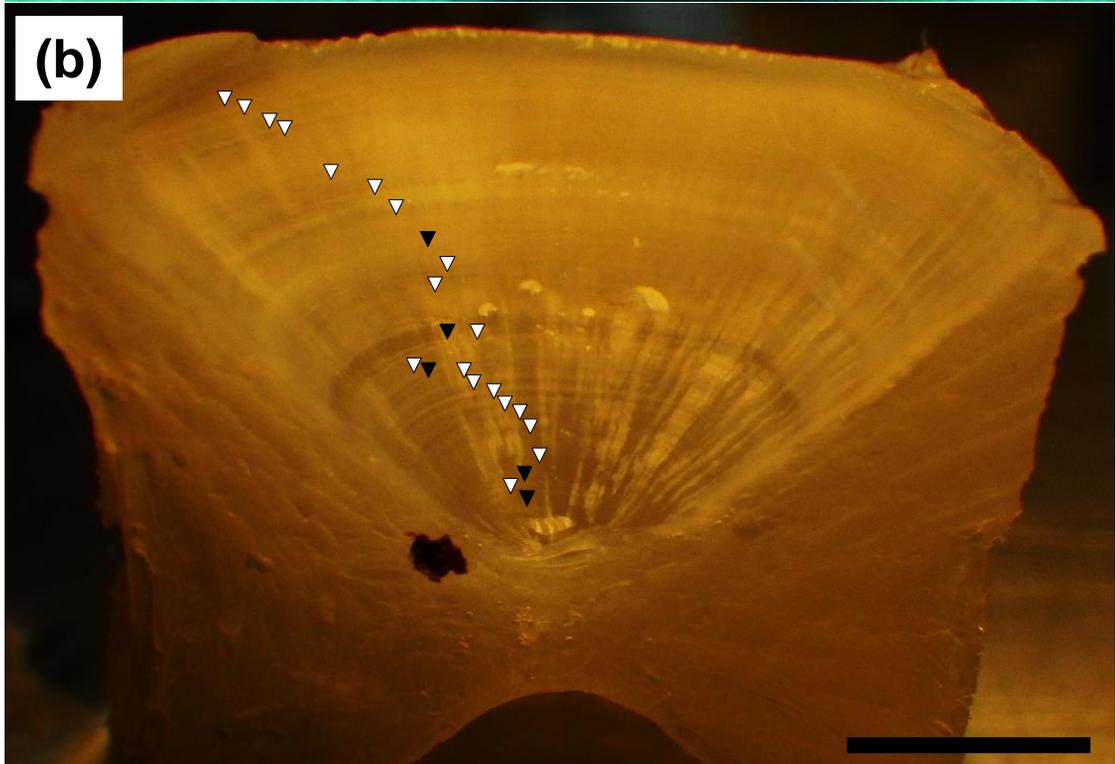
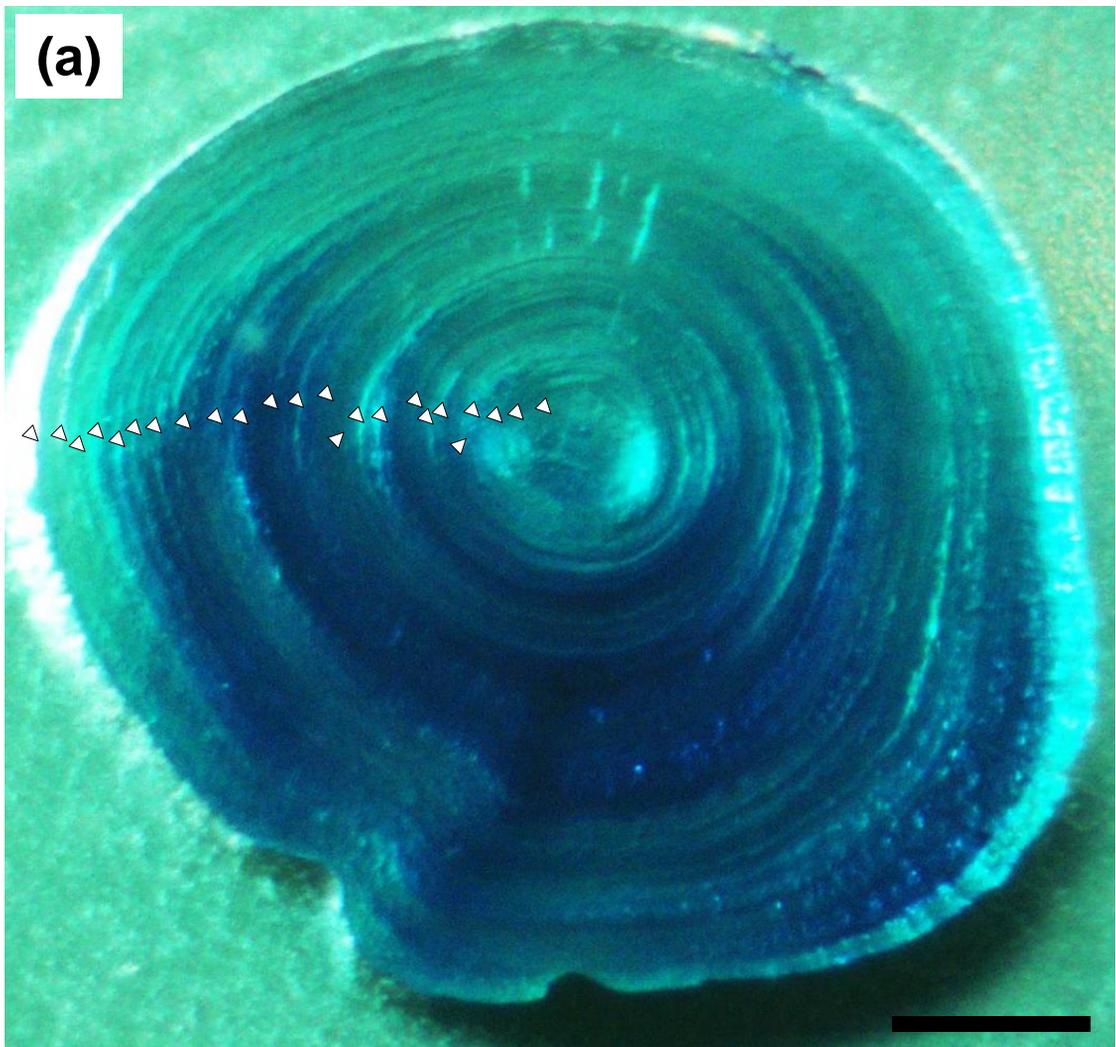
付図4-1-2 キアンコウ *Lophius litulon* (683 mm TL, 日本海で2015年6月10日採集) 背鰭第一棘の横断面。(a)未染色, (b)アリザリンレッドS溶液4時間染色, (c)メチルレッド溶液4時間染色, (d)アセトカーミン溶液2時間染色, (e)メチレンブルー溶液4時間染色, (f)アルシアンブルー溶液4時間染色. スケールバーは200 μm を示す.



付図4-1-3 キアンコウ *Lophius litulon* (475 mm TL, 日本海で2014年6月9日採集) 背鰭第一棘の横断面をエッチング, メチレンブルー染色した切片。根元からそれぞれ(a)5 mm, (b)15 mm, (c)25 mm, (d)35 mm, (e)45 mm, (f)55 mm. (a)・(b)における矢印は, 着底輪を示す。これらの写真は, 落射光下の実態顕微鏡を用いて撮影された。スケールバーは200 μ mを示す。



付図4-1-4 キアコウ *Lophius litulon* 背鰭第一棘の横断面, (a)日本海で2015年2月12日採集, (b)太平洋で2015年2月17日採集, (c)日本海で2015年6月9日採集. 左段は落射光下, 右段は透過光下で撮影された写真. 赤△印は染色された不透明帯, 白△印はエッチング処理によって深く窪み染色されて不透明帯と誤認されたもの, 黒△印は染色が不十分・不明瞭であったものをそれぞれ示す. スケールバーは200 μm を示す.



付図4-1-5 キアッコウ *Lophius litulon* (728 mm TL, 津軽海峡で2015年12月14日採集) 背鰭第一棘の横断面と椎体. \triangle 印は不透明帯, \blacktriangle 印は不明瞭で計数することができなかった透明帯. スケールバーは200 μm を示す.