

# キタオットセイ遺存体のDNA分析および炭素・窒素・酸素安定同位体分析 —北海道博物館所蔵の北見市常呂栄浦第一・稚内市大岬1遺跡出土資料—

高瀬克範・西田義憲・右代啓視

Key Words キタオットセイ (*Callorhinus ursinus*)、DNA分析 (DNA analysis)、同位体分析 (Isotope analysis)、オホーツク文化 (Okhotsk Culture)

## 1 目的と背景

「過去人類の物質的遺物（に據り人類の過去）を研究する学なり」（浜田 1922：11）と定義される考古学は歴史学の一部とされ、考古学的な遺跡から出土した物質資料は人類の歴史を解明するために用いられるのが通例である。しかし、遺跡から出土した動植物遺存体は当時の生物の実物資料であり、近現代に収集された生物標本では遡ることができない数百年～数千年前の資料も含まれている。これらを利用して、動物や植物、あるいはそれらが属していた生態系の長期的な歴史を解明することは可能であり、実際にそうした研究はすでに成果をあげはじめている（高瀬 2022）。

たとえば、北太平洋東部においては、現在はほぼベーリング海のプリピロフ諸島に限られているキタオットセイ (*Callorhinus ursinus*) の繁殖地が、かつてはアメリカ本土沿岸にもいくつか存在していたことが明らかになってきている (Burton et al. 2001, Crockford et al. 2002, 2004; Etnier 2002, Gifford-Gonzalez et al. 2005, Moss et al. 2006, 2016, Newsome, Etnier, Kurle et al. 2007, Newsome, Etnier, Gifford-Gonzalez et al. 2007)。いまは知られていないキタオットセイの繁殖地がかつてはプリピロフ諸島以外にも存在していたという前世紀からの予測は (Lyman 1988)、考古学的な遺跡から出土した過去の実物資料から支持できるようになってきているのである。また、遺跡から出土したトド (*Eumetopias jubatus*)、ゼニガタアザラシ (*Phoca vitulina*)、キタオットセイ、ラッコ (*Enhydra lutris*)、マダラ (*Gadus macrocephalus*)、ベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) の骨の同位体分析から、過去4500年間の海洋生産性の推移を推定しようという試みも行われてきている (Misarti et al. 2009)。長期的な過去の資料が含まれている出土資料の特質を活かした研究といえよう。

北海道の考古学的遺跡から出土した資料もこうした観点から研究し、特定の動植物や生態系の長期的な歴史復元に役立つことはまちがいない。しかも、こうした研究によって得られたデータは、動植物が歩んできた歴史の解明にとどまることなく、それら動植物をさまざまな目的で利用していた過去の人類への理解にもフィードバックすることができることから、最終的には人類史のよりよい理解にもつながる。

このような構想のもと、筆者らは北海道博物館が所蔵する栄浦第一遺跡（野村ほか 1993、右代 1990・1992）、大岬1遺跡（納谷 1969、右代 1999）から出土したキタオットセイ遺存体のDNA分析と同位体分析を実施することとした。ここでは、その研究結果を報告する。なお、右代はコレクションと遺跡の評価、西田はDNA分析、高瀬は同位体分析・研究総括を担当した。

## 2 資料と方法

### (1) コレクションと遺跡

DNA分析と同位体分析を行う資料は、北海道博物館に所蔵されている「加藤正コレクション」（収蔵番号：116614）と「納谷忠久コレクション」（収蔵番号：18047）に含まれるキタオットセイ遺存体6点である。これらの遺存体は、北見市常呂栄浦第一遺跡（加藤正コレクション）、稚内市大岬1遺跡（納谷忠久コレクション）から出土した考古資料である。この遺跡とコレクションについて、次に示すことにする。

#### ①北見市常呂栄浦第一遺跡出土資料

この遺跡は、サロマ湖の東側南西、ライトコロ川の氾濫原に挟まれたところに位置し、鐙沸神社周辺からはじまり、東方に栄浦第二遺跡へと続く、大規模な堅穴群である（図1）。分析する資料は、加藤正氏が昭和20～30年代ころに表採した考古資料133点に含まれる。この取

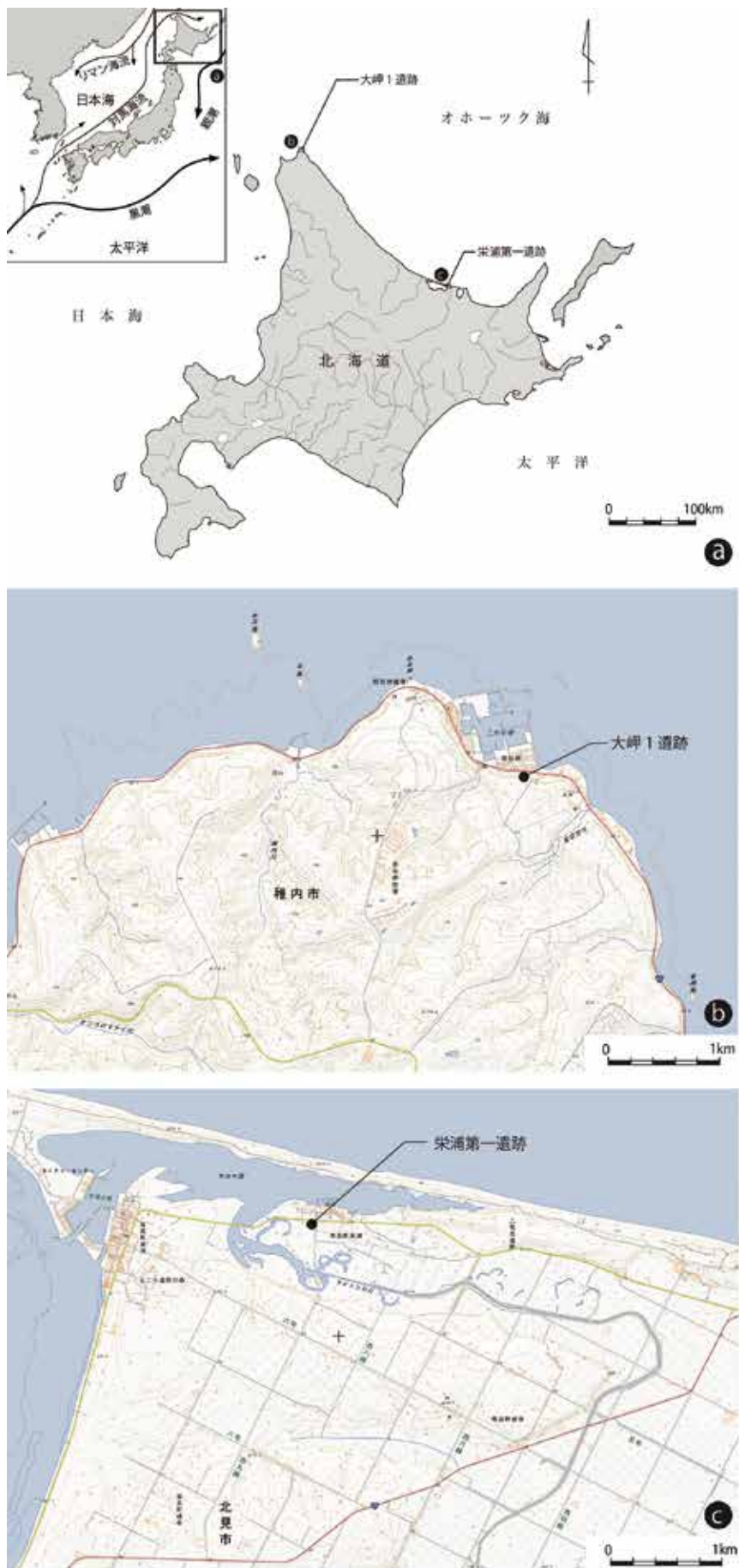


図1 遺跡の位置

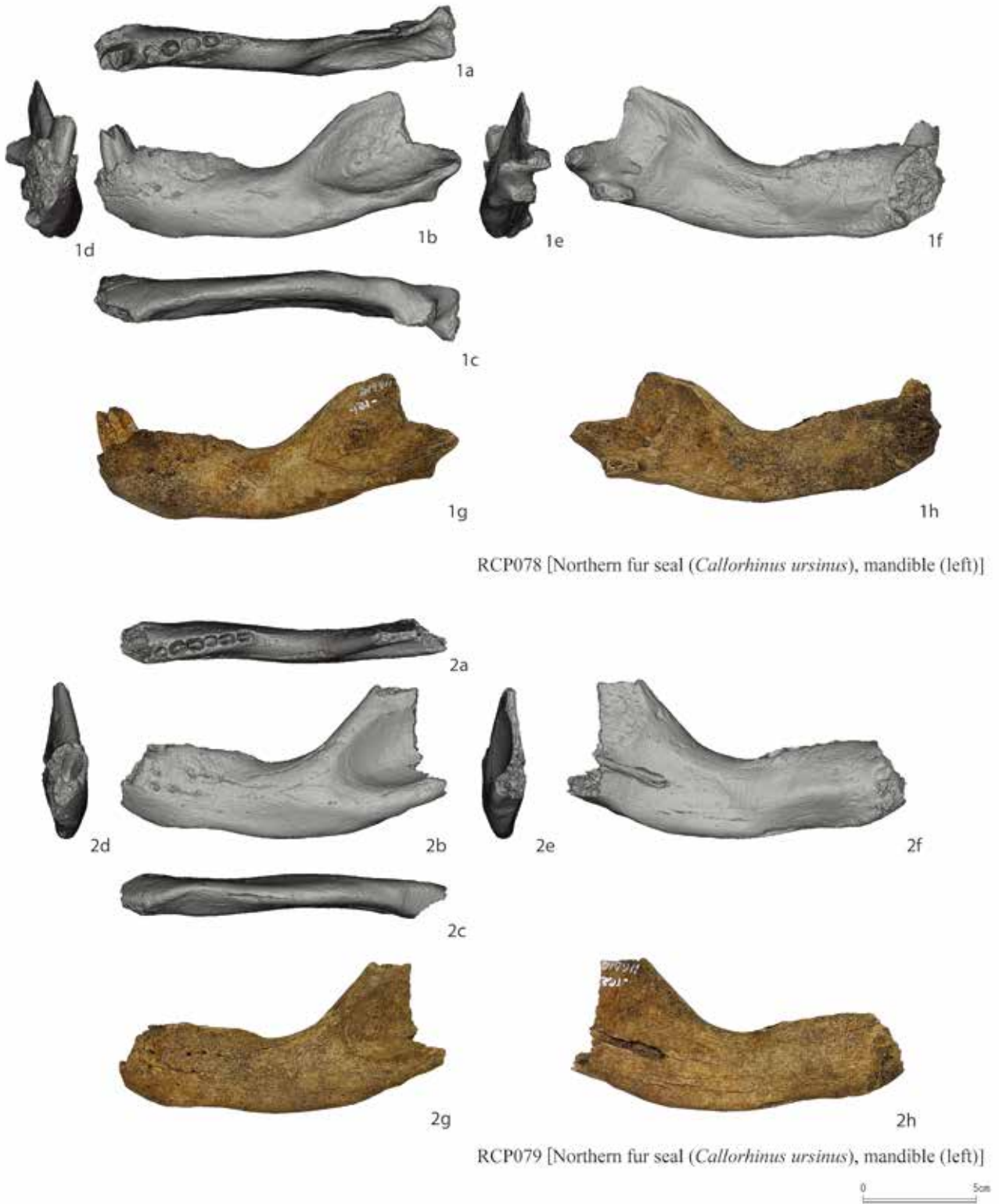


図2 分析資料 (1) [各資料の上段は三次元モデルの画像、下段は写真]

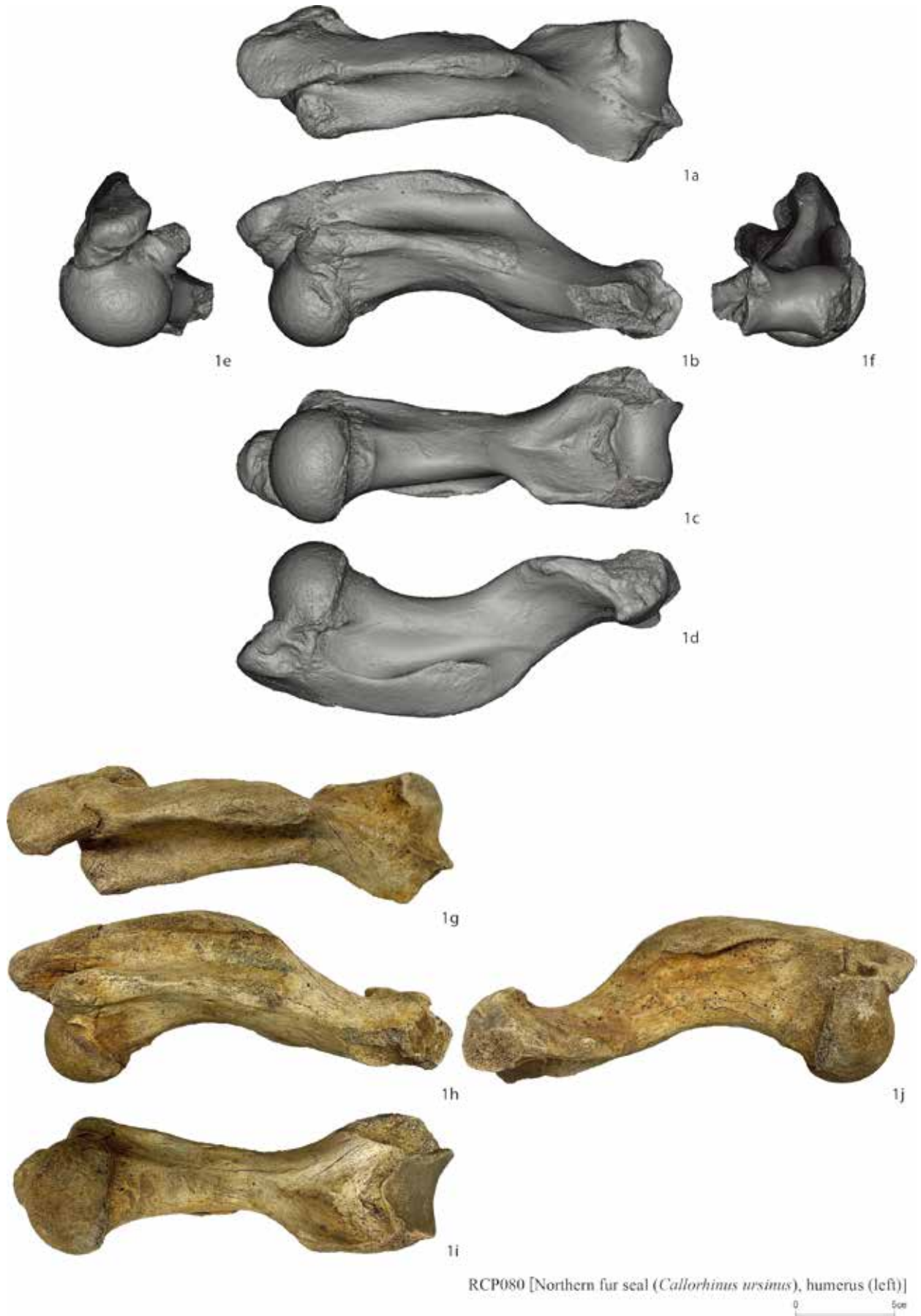


図3 分析資料 (2) [上段は三次元モデルの画像、下段は写真]

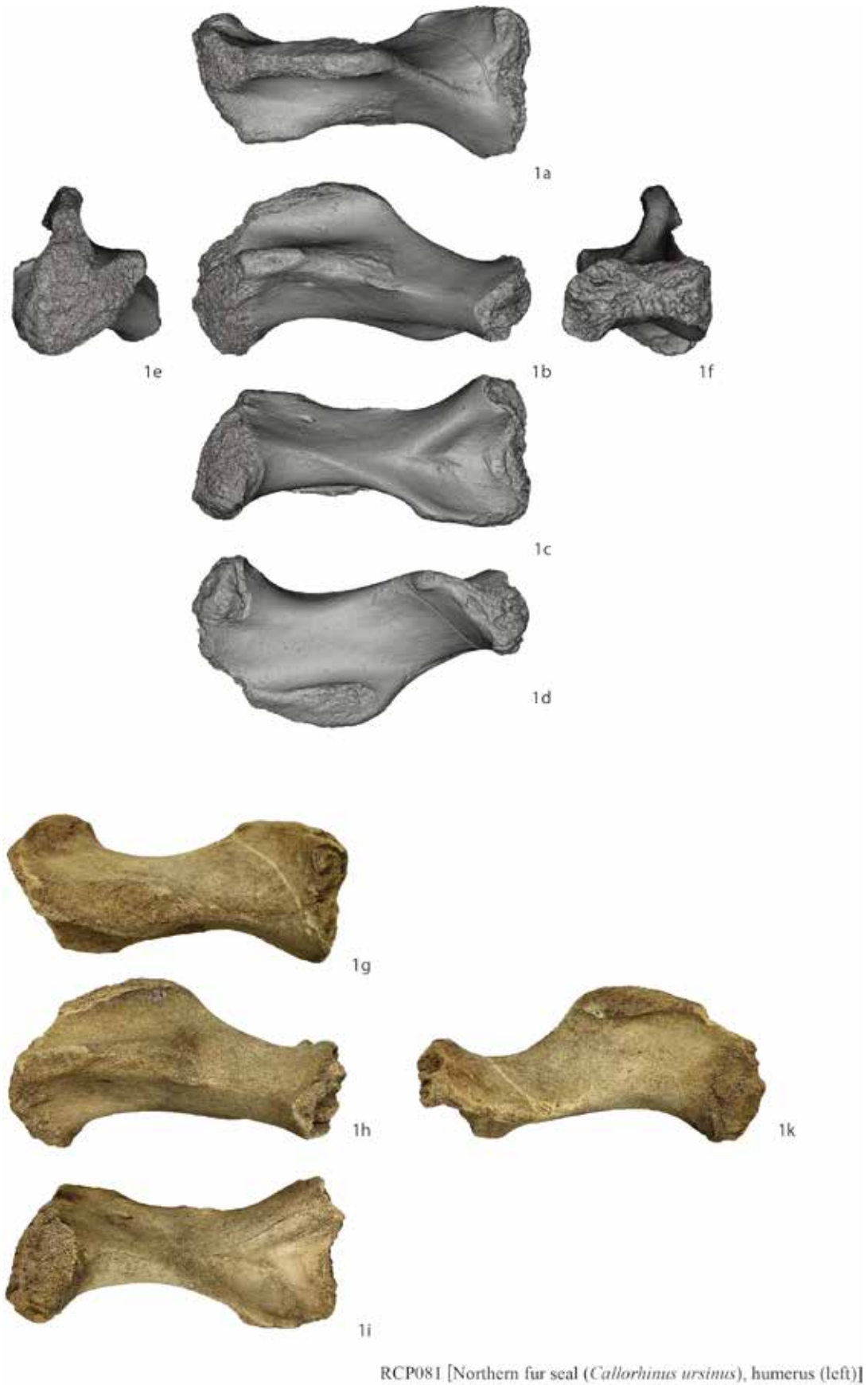


図4 分析資料 (3) [上段は三次元モデルの画像、下段は写真]

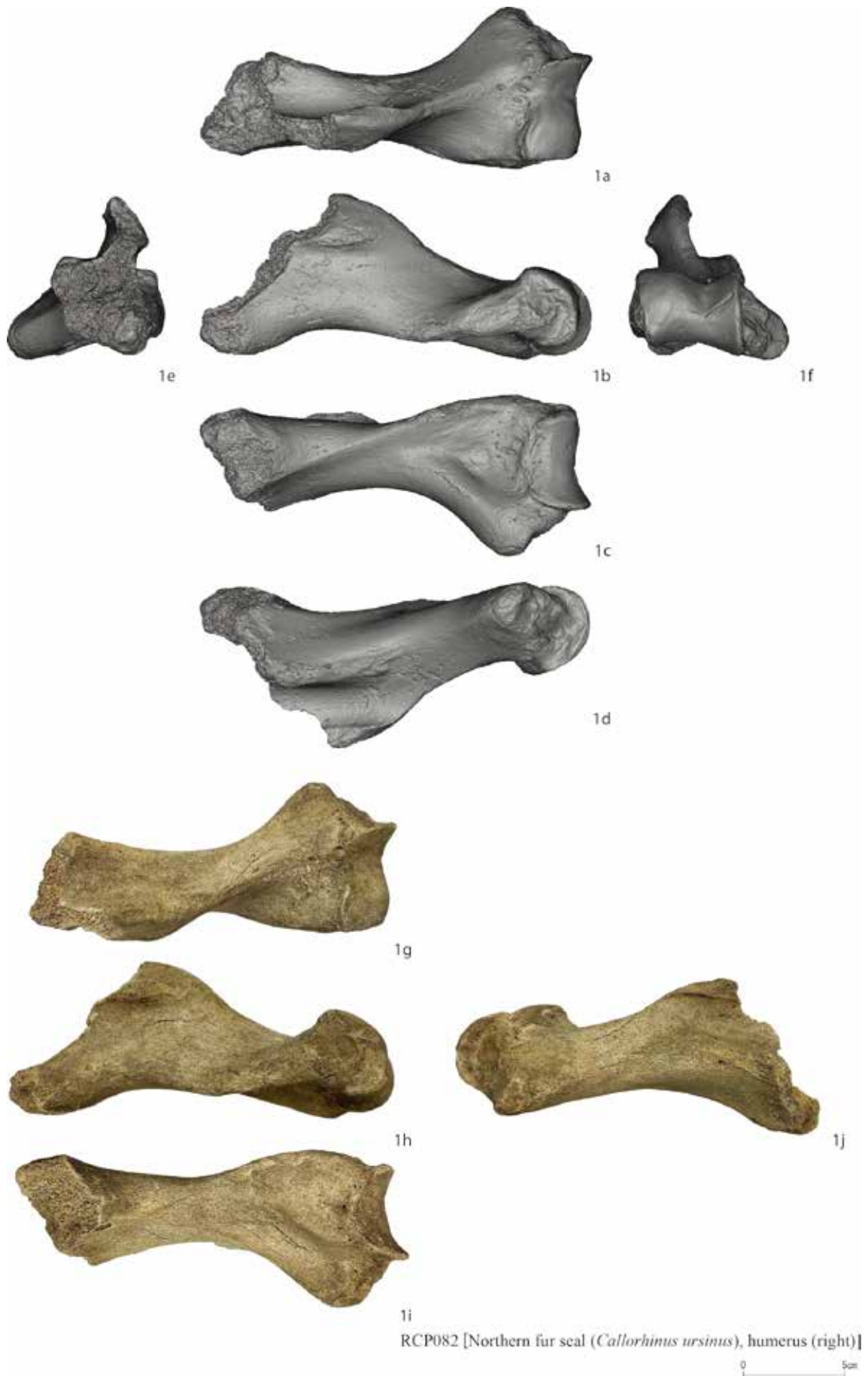


図5 分析資料 (4) [上段は三次元モデルの画像、下段は写真]

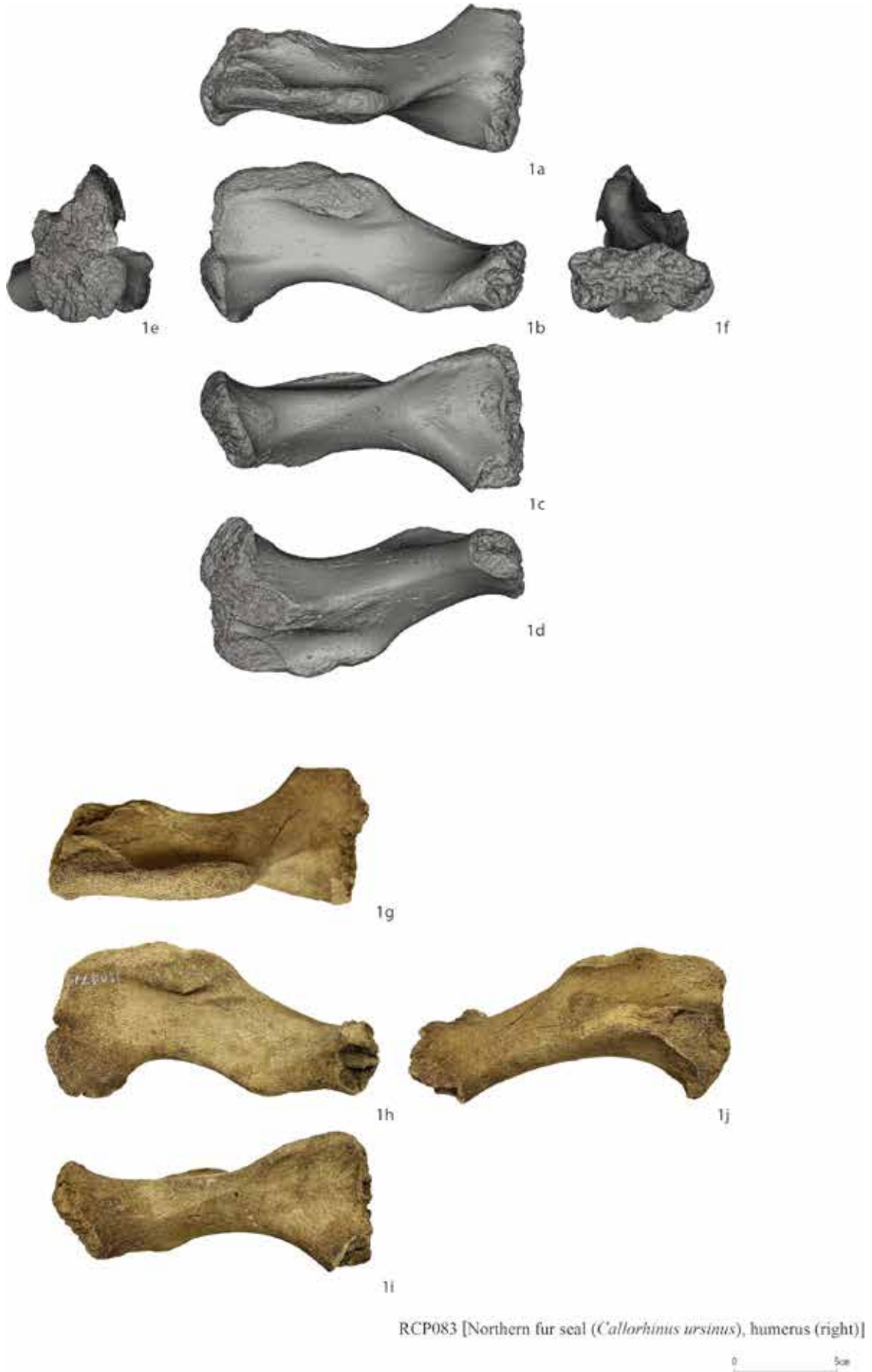


図6 分析資料 (5) [上段は三次元モデルの画像、下段は写真]

表1 分析資料一覧

No.	試料ID	遺跡	北海道博物館 受入番号	帰属文化	部位	左右	年齢 階梯	性別	長さ (mm)	骨幹長 (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	重量 (g)	下顎骨 短長 (mm)	上腕骨 全長 (mm)	上腕骨 骨幹長 (mm)	上腕骨 遠位端幅 (mm)	推定年齢 (Etnier 2002に 基づく推定)	同位体分析 用試料重量 (g)
1	RCP078	栄浦 第一	116614-126	オホーツク 文化後期	下顎骨	L	成獣	オス	(153.4)	-	(50.8)	(17.7)	(59.3)	(90.8)	-	-	-	7+	0.780
2	RCP079	栄浦 第一	116614-102	オホーツク 文化後期	下顎骨	L	成獣	オス	(129.5)	-	(53.6)	(13.6)	(43.7)	(77.0)	-	-	-	4+	0.570
3	RCP080	大岬1	-	オホーツク 文化	上腕骨	L	成獣	オス	222.1	141.6	69.0	58.7	306.5	-	222.1	141.6	69.0	10+	0.890
4	RCP081	大岬1	-	オホーツク 文化	上腕骨	L	成獣	オス	(135.0)	(135.0)	62.1	(56.2)	(116.5)	-	-	(135.0)	62.1	7	0.800
5	RCP082	大岬1	-	オホーツク 文化	上腕骨	R	成獣	オス	(167.9)	(143.0)	70.2	(58.6)	(142.7)	-	-	(143.0)	70.2	7+	1.060
6	RCP083	大岬1	-	オホーツク 文化	上腕骨	R	成獣	オス	(146.0)	(146.0)	62.8	(52.8)	(114.1)	-	-	(146.0)	62.8	7+	0.840

集資料は、縄文、続縄文、擦文、オホーツク文化の各時期に相当し、北海道博物館（旧：北海道開拓記念館）へ昭和60年（1985）に加藤氏から寄贈されたものである（野村ほか 1993）。加藤氏は、昭和30年（1955）前後にこの遺跡を頻繁におとずれ、遺跡や遺物の重要性に鑑みて鑑沸神社の東側の地点からオホーツク文化の資料を収集した（右代 1990・1992）。分析の対象とした資料は、オホーツク文化後期の8世紀を中心とした土器、石器と共に表採された動物遺存体の中からキタオットセイ2点を扱った。

②稚内市大岬1遺跡出土資料

この遺跡は、宗谷湾の東方の大岬、オホーツク海に接した海岸に位置しており、貝塚である大岬1遺跡と包蔵地である大岬2遺跡が隣接している（図1）。この二つの遺跡は、昭和44年（1969）の国道238号線の改修工事の際に発見された（納谷 1969・右代 1999）。出土遺物は、この国道工事現場から納谷忠久氏が収集したオホーツク文化後期の土器、骨角器、獣骨、人骨などであり、人骨を除く資料が北海道博物館（旧：北海道開拓記念館）に昭和45年（1970）に寄贈された。

分析の対象とした資料は、大岬1遺跡（貝塚）から出土したオホーツク文化の前期後半～後期の7～8世紀を中心とした土器、石器と共に収集された動物遺存体のなかからキタオットセイ4点を扱った。国道238号線の改修工事の際、納谷忠久氏が考古資料や人骨の発見の情報を聞きつけ現場から収集した考古資料で、本格的な発掘は実施していないが考古資料の重要性から収集されたものである。この遺跡のコレクションは、オホーツク文化の遺物のみで、他文化の考古資料がみられないことから同文化の単純遺跡と考えられる（右代 1999）。

(2) 資料

資料の詳細は、表1および図2～6に示した。栄浦第一遺跡出土のRCP078およびRCP079の2点は、どちらも左

の下顎骨である（図2）。歯はほとんどが歯槽から脱落しているが、RCP078の犬歯が残存している。どちらも一部に資料の欠損があるが、形態学的な特徴からキタオットセイ (*Callorhinus ursinus*) と同定され、サイズの大きさや犬歯の歯槽部分が外側に盛り上がる程度が大きいことからオスの成獣と考えられる。残存している箇所計測では短長 (Short length、図7) が77～90.8mm以上ある。このことから、目安としてEtnier (2002) による現生標本の計測値を参照すると4歳～7歳以上の個体と考えられる。

大岬1遺跡出土のRCP080～RCP083の4点は、すべて上腕骨（左）である（図3～6）。上面観がスレンダーで、近位端側の外側に幅が広い平坦面が発達していることから、アシカ科のなかでもキタオットセイと同定される。ほぼ完全な形で残存しているのはRCP080のみであるが、いずれの資料も骨幹長だけで13cm以上とサイズが大きく、全てオスの成獣と判断される。正確な年齢を推定することはできないが、Etnier (2002) による現生標本の計測値と比較するとRCP080は全長 (Total length、図7) から10歳以上、RCP081～RCP083は遠位端幅 (Distal width) から7歳以上と推定される。

(3) 方法

①DNA分析

DNA抽出は、Masuda et al. (2001) により報告された方法に準じた。資料からのDNA抽出用骨粉の分取は、バイオハザードキャビネット内に設置した粉体飛散防止用のプラスチックボックス内で、電動ドリルを用いて行った。また、使用する全ての実験機材は、予めDNA分解除去試薬 (DNA away, Thermo Fisher Scientific) を用いて清拭し、外来DNA混入の可能性を排除した。検体あたり0.5ml (約0.2～0.5g) の骨粉を15mlのプラスチックチューブに量り取り、5mlの0.5M エチレンジアミン四酢酸 (EDTA) を加えて室温下で1



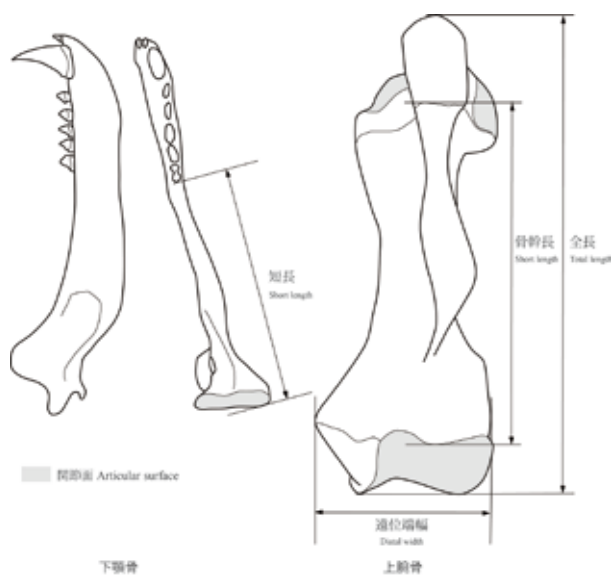


図7 計測部位 (Etnier 2002を一部改変のうえ再トレース)

時間旋回攪拌、その後3000rpm (2000×g) で15分間遠心分離し、上清を除去した。この一連の操作を10回繰り返して、得られた沈殿を50 $\mu$ lのプロテイナーゼK (10mg/ml) を加えた5mlの0.5M EDTAに懸濁し、37°Cで一晩旋回攪拌した。この懸濁液からフェノール-クロロホルム法 (Sambrook et al. 1989) によりDNAを抽出し、抽出液を限外濾過 (Vivaspin 6またはVivaspin Turbo 4濃縮器 (Sartorius) 使用) することで、EDTAからTEへの溶媒の置換と減容 (濃縮) を行い、最終的に約100 $\mu$ lの試料DNA溶液を得た。

得られた試料DNAを鋳型とし、Thr/Pro: 5'-TCCCTAAGACTCAAGGAAGAG-3'、Cent: GAGCGAGAAGAGGTACTTT (Wynen et al. 2000) 及びCallo CR1: GTGGGGGTATGTACTTCGTGCA (Newsome, Etnier, Gifford-Gonzales et al. 2007) のほか本研究で新たに設計したプライマー (Callo CR3: CATGCTTATATGCATGGGC) を使用して、PCR法によりミトコンドリアDNA中のD-loop領域の部分塩基配列 (154-316bp、プライマー配列を除く) を増幅し、得られたPCR産物の塩基配列をBigDye™ Terminator v.3.1 Cycle Sequencing KitとApplied Biosystems 3730 DNAアナライザ (共にThermo Fisher Scientific) を用いてサンガー法により決定した。塩基配列データの信憑性を確認するため、試料毎のPCRと塩基配列決定は、同じ条件で少なくとも2回行った。

## ②同位体分析

化学的性質は同じだが、中性子数の違いのために質量という物理的性質が異なる原子のことを同位体と呼ぶ。炭素では12 ( $^{12}\text{C}$ : 98.89%)、13 ( $^{13}\text{C}$ : 1.11%)、14 ( $^{14}\text{C}$ : 放射性でごく微量のみ存在) の原子量をもつ3種類の同位体、窒素では14 ( $^{14}\text{N}$ : 99.63%) と15 ( $^{15}\text{N}$ :

0.34%) の原子量をもつ2種類の同位体、酸素では16 ( $^{16}\text{O}$ : 99.76%)、17 ( $^{17}\text{O}$ : 0.04%)、18 ( $^{18}\text{O}$ : 0.20%) の3種類の同位体が知られている。ただし、化学的性質は同じであっても、質量の違いによって化学反応速度に差異を生じるため、さまざまな物質によってそれらに含まれる同位体の割合 (同位体比) は異なっている。動物の組織に含まれる炭素、窒素や酸素の同位体比は、食物に含まれるタンパク質の同位体比に強く影響され、特に骨の成分が置き換わるには10年以上の時間がかかるので、もしも季節的にでも海産物を多く利用していたら、その証拠は骨の同位体比に残されているはずである。こうした性質が生物の生息環境や食性などの理解に役立ち、出土資料を用いることでその長期的な変遷をも解明することができると考えられることから、本研究ではこれら元素の同位体比を測定した。

資料は、写真撮影および3Dスキャナ (Artec Spider) をもちいた三次元計測によって表面・形態情報を記録したのち、上記DNA分析と同じ手法で1.0gを目安として試料を採取した。骨コラーゲンの抽出と窒素・炭素同位体分析は株式会社加速器分析研究所が、酸素同位体の測定は株式会社昭光サイエンスが実施した。コラーゲン抽出のための前処理は、試料表面の汚れのブラシによる除去、超音波洗浄機による試料の洗浄、超純水による洗浄、1M HClによるダイアライシスメンブラン内でのリン酸塩およびその他の鉱物成分の除去、遠心管における超純水による洗浄、アルカリ可溶性の汚染物除去を目的としたNaOH溶液 (0.1M) による処理と0.5時間ごとの溶液交換 (溶液の色がなくなるまで)、超純水による洗浄後の1M HClによる脱炭酸化、超純水による溶液の中和をへて、遠心分離したサンプルの沈殿物を超純水により90°Cで溶解し、ろ過した。ろ液を凍結乾燥することによってコラーゲンを回収した。コラーゲン回収率 (試料重量に対するコラーゲン重量) は表3に示した。

元素分析計で試料を燃焼することで $\text{N}_2$ と $\text{CO}_2$ を分離し、それぞれの濃度を測定した (表3)。分離された $\text{N}_2$ と $\text{CO}_2$ をインターフェイスを介して質量分析計に導入し、 $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ を測定した (表3)。炭素・窒素安定同位体比の測定には、同位体比質量分析計システム (EA-IRMS: Thermo Fisher Scientific, Flash EA1112-DELTA V Advantage ConFlo IV System) を用いた。酸素安定同位体比は、上記の手法で抽出されたコラーゲンを熱分解型元素分析計により $\text{CO}$ に変換し、インターフェイスを介して質量分析計に導入して測定した (表3)。酸素安定同位体比の測定には、熱分解型元素分析計と同位体比質量分析計システム (TC/EA-IRMS: Thermo Fisher Scientific, TC/EA-DELTA Q ConFlo IV System) を使用した。



表2 種判定結果

No.	試料ID	決定された塩基配列長 (base-pair, bp)	種判定結果 (NCBI BLAST)	DNAデータベースに登録済みの同一もしくは同様の非常に高いハプロタイプ (100%以外の場合の相対率)	データベース上のシーケンズID	備考
1	RCP78	316	<i>Callorhinus ursinus</i>	haplotype 304/18	EU792293/EU792007	
2	RCP79	286	<i>Callorhinus ursinus</i>	haplotype 236/222/84 (*99%)	EU792225/EU792211/EU792073	新規ハプロタイプ
3	RCP80	316	<i>Callorhinus ursinus</i>	haplotype 304/18/239 (*99%)	EU792293/EU792007	新規ハプロタイプ
4	RCP81	154	<i>Callorhinus ursinus</i>	haplotype 320...他多数	EU792309...他多数	
5	RCP82	154	<i>Callorhinus ursinus</i>	haplotype 329...他多数	EU792315...他多数	
6	RCP83	316	<i>Callorhinus ursinus</i>	haplotype 171	EU792110/EU791999	

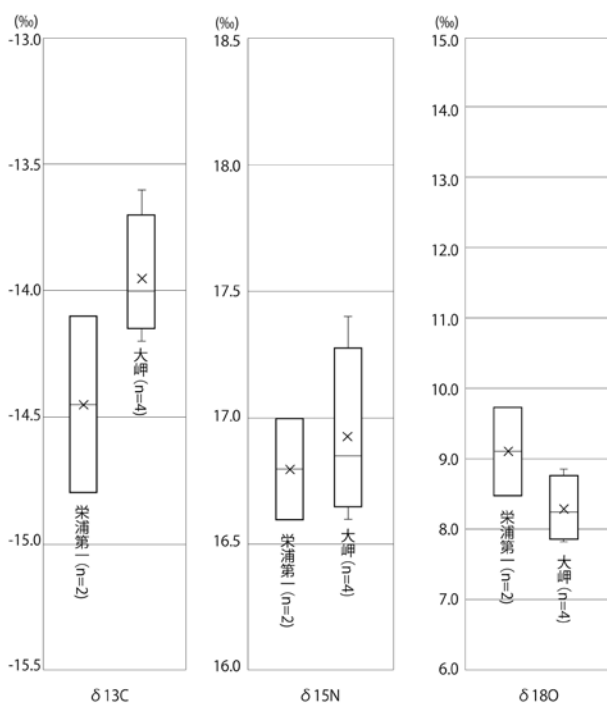


図9 栄浦第一遺跡、大岬1遺跡出土キタオットセイの同位体分析結果

### 3 結果

#### (1) DNA分析

DNA分析の結果から、RCP82を除く全ての試料から得られたミトコンドリアDNA (mtDNA) 中のD-loop領域の部分長に、他とは異なる塩基を持つ座位 (多型座位: 図8の反転文字部分) が存在するため、ほぼ全ての試料が異なるmtDNAハプロタイプを持つことが示された。RCP82については、決定された塩基配列長が短く、RCP78、79、83のいずれかと同じハプロタイプを持つ可能性もあるが、未決部分が他と異なる別の塩基配列を持つ可能性もあり、現段階ではRCP82のmtDNAハプロタイプに関し、他試料との共通性に関する確実な情報は得られなかった。したがって、本研究で用いたRCP82以外の出土骨サンプルは、全て異なる個体由来することが示された。また、得られた塩基配列をアメリカ国立生物工学情報センター (National Center for

Biotechnology Information, NCBI) が提供するBasic Local Alignment Search Tool (BLAST) を用いてDNAデータベース (DDBJ/EMBL/GenBank) に登録された既知の塩基配列と比較したところ、試料個体は全てキタオットセイ (*Callorhinus ursinus*) に属することが明らかとなり、さらに、RCP79とRCP80から得られた塩基配列は既知の配列に一致するものがなく、これら2個体が新規のmtDNAハプロタイプを持つことが示唆された。

#### (2) 同位体分析

DeNiro (1985) およびHare and von Endt (1990) の基準によれば、全てのC/N比は通常の範囲内にある。van Klinken (1999) の基準に照らして、コラーゲン回収率も問題のない水準にある。 $\delta^{13}\text{C}$ は $-14.8\text{‰}$ ~ $-13.6\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $16.6\text{‰}$ ~ $17.4\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ は $7.8$ ~ $9.7$ のあいだであった (表3、図9)。

### 4 意義と展望

本研究では、栄浦第一遺跡および大岬遺跡から出土したオホーツク文化期に属する6個のキタオットセイ成獣の骨を分析対象とした。栄浦第一遺跡出土資料は2個の下顎骨、大岬1遺跡出土資料は4個の上腕骨である。下顎骨はともに左であるが、上腕骨は左2個、右2個であるため同一個体の資料が含まれている可能性もあったが、DNA分析によって決定された塩基配列長が短かった1試料をのぞいて全て別の個体であることが確認された。6個の資料の $\delta^{13}\text{C}$ 値の平均値は $-14.1\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の平均値は $16.9\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ の平均値は $8.6\text{‰}$ であった。鰭脚類でも部位によっては同位体比に有意な差が現れることも知られている (Clark et al. 2017)。しかし、注意を要する四肢先端の骨は本研究の分析対象には含まれていないため、両遺跡で異なる部位を扱ってはいるものの分析結果の比較には問題はないと思われる。

遺跡から出土したキタオットセイの炭素・窒素安定同位体比は、北米側では多くの測定結果が報告されている。たとえばMisarti et al. (2009) は、アリュー

表3 同位体分析結果

No.	試料ID	遺跡	コラーゲン 回収率(%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (MASS)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰) (MASS)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) (MASS)	C濃度 (wt %)	N濃度 (wt %)	C/N比 (wt)	C/N比 (atomic)	遺跡内の平均値		
											$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	RCP078	栄浦第一	3.9	-14.1	16.6	8.5	41.8	15.2	2.8	3.2	-14.5	16.8	9.1
2	RCP079	栄浦第一	2.0	-14.8	17.0	9.7	42.3	14.9	2.8	3.3			
3	RCP080	大岬1	5.0	-13.6	17.4	8.9	42.5	15.4	2.7	3.2			
4	RCP081	大岬1	2.2	-14.0	16.6	7.8	42.4	15.3	2.8	3.2	-14.0	16.9	8.3
5	RCP082	大岬1	2.6	-14.2	16.9	8.5	42.7	15.3	2.8	3.3			
6	RCP083	大岬1	2.6	-14.0	16.8	8.0	42.6	15.2	2.8	3.3			

シャン列島から出土した27個体の平均値として、 $\delta^{13}\text{C}$ が $-13.6\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ が $16.1\text{‰}$ との結果を報告している。また、Byers et al. (2011) もアリューシャン列島から出土した11個体の測定結果を公表しており、平均で $\delta^{13}\text{C}$ が $-13.7\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ が $17.3\text{‰}$ となっている。北太平洋の西部では報告例は少ないが、Naito et al. (2010) が北海道北黄金貝塚出土資料2点の分析結果を報告している。アミノ酸同位体分析も行われている点で重要な研究であるが、本研究と同じバルク試料の分析では $\delta^{13}\text{C}$ 値はそれぞれ $-15.5\text{‰}$ 、 $-14.0\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $17.3\text{‰}$ 、 $17.0\text{‰}$ である。これらの結果と比較すると、本研究で分析した資料の $\delta^{13}\text{C}$ 値の平均値は、栄浦第一出土資料で $0.8\sim 0.9\text{‰}$ ほど、大岬1で $0.3\sim 0.4\text{‰}$ ほどそれぞれ北米よりも低い。北黄金貝塚との $\delta^{13}\text{C}$ 値の平均値の比較では、栄浦第一で $0.3\text{‰}$ ほど、大岬1では $0.8\text{‰}$ ほどそれぞれ高い。 $\delta^{15}\text{N}$ 値の平均値の単純な比較では、栄浦第一と大岬1はMisarti et al. (2009) の結果よりも $0.7\sim 0.8\text{‰}$ ほど高いが、Byers et al. (2011) の報告や北黄金貝塚(Naito et al. 2010) よりは $0.3\sim 0.5\text{‰}$ ほど低い。サンプル数が限られているためここでの比較からすぐに何らかの結論を引き出すことができるわけではないが、今後、分析事例を増やしていくなかで同位体比に空間的・時間的なパターンを見いだせるかどうか重要になってくる。

一般的に、海洋の $\delta^{13}\text{C}$ 値は一次生産者の光合成速度(≒グルコース $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 合成速度)に大きく影響を受けており、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は海域における硝酸塩( $\text{NO}_3^-$ )など一次生産者の栄養塩によって決まる(Graham et al. 2020)。生物中におけるこれらの値は、基本的には栄養段階が高くなるにしたがってともに上昇する。しかし、大きくみれば北太平洋のなかでも空間差があり、また同じ海域でも時期によって変化することから、動物が生息した場所や時期によってこれらの値は異なる(杉崎ほか2013)。このため、食物網構造の時間的・空間的

変異の解析に利用されるとともに、さまざまな時間スケールにおける捕食者の生息域や回遊ルート、また採餌行動などを知る手がかりともされてきた(Hirons 2001、Hobson et al. 2010、Matsubayashi et al. 2020など)。

ただし、動物の回遊行動、採餌行動などに大きな変化が生じたとは考えにくい時間幅や地域においては、炭素・窒素安定同位体比のちがいが食物網の変化に起因して生じた可能性がでてくる。海の場合、そうした違いは海洋生産性の高低を反映していると考えられることから、遺跡出土動物骨の同位体分析から海の豊かさの長期的な変遷が推定できる道が拓ける(Misarti et al. 2009など)。もちろん、動物の行動と生息地の環境のどちらの要因が同位体比の差異に強く関係しているのかは、上位捕食者だけでなく下位捕食者の同位体比や動植物プランクトンの同位体地図(isoscape)、当時の人類の狩猟・漁労技術や捕獲される海獣類や魚類に関わる指向性などにも配慮しつつ慎重に判断する必要がある(Nakamura et al. 2007など)。また、捕獲されている動物の集団構造が大きく変化したことによって安定同位体比が変わることも考えられるため、そうした可能性の有無を確認するためにも本研究で実施したようなDNA分析を併用する必要があるであろう。集団構造に大きな変化がないのであれば、同位体比の変化が海洋生産性のちがいを反映している可能性はより高まるため、解釈の幅を狭めることができる。かりに集団構造の変化が確認できたとするならば、そのこと自体がその種にとって重要な歴史の一部が解明できたことを意味する。

ここで実施した分析は、こうした観点から上位捕食者であるキタオットセイのDNA分析と同位体分析を実施したものである。同位体分析は、炭素・窒素にくわえて、海洋であっても同位体のベースラインの変化を捉える指標になりえると予測されている酸素同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ ) (Hobson et al. 2010) の測定もあわせて実施し

た。北太平洋の西側では、おそらく初めての出土鱈脚類の複合的な研究事例である。しかし、ここでの分析だけでは、酸素同位体の測定結果がいかなる意味を持つのかを判断することはまだ難しい。今後、さまざまな地域と時期の測定例を同じ資料の炭素・窒素同位体と比較したり、多様なプロキシによって明らかになっている陸域・海域の環境変化と対照することでその意義を明らかにしていくことができると考えられる。

炭素・窒素の同位体については、海獣ではなく魚類を用いて北太平洋西部で体系的な研究が先行して実施されている。礼文島出土のタラ類では、オホーツク文化期よりも縄文文化前期で $\delta^{15}\text{N}$ 値が有意に高い点が注目され、その要因として漁労活動の変化や寒冷化が想定されている (Tsutaya et al. 2022)。本研究では、キタオットセイのみを分析対象としており、しかもオホーツク海側のオホーツク文化期の資料しか取り扱っていないため、こうした先行研究や他の地域・時期との比較が困難である。ここでは、得られた結果が当時の狩猟技術や海洋生産性という点でどのような意味を持つのかについては、具体的な評価は避けたい。ただし、栄浦第一と大岬1のあいだで $\delta^{13}\text{C}$ 値に差があるようにみえるように、将来的に炭素・窒素安定同位体比の挙動に一定の傾向を見出すことができるならば、そこには長期的な環境変動だけではなく、オホーツク文化期のなかでの時間差や空間差が反映されている可能性も考慮はしておくべきであろう。

近年、北海道では、生業中に占める海洋資源の重要性がかなり高かったことや (米田 2002、Naito et al. 2019、Tsutaya et al. 2013、Takase 2020など)、完新世においては人口がかなりはげしく変動していたことが明らかにされてきている (Crema et al. 2016、中村 2020、Fitzhugh et al. 2022)。こうした研究状況に配慮すれば、遺跡から出土した動物骨の同位体分析は、海洋生産性の変動の復元に貢献するだけではなく、人類史の理解にもよい影響を与えるのは確実である。海洋生産性の変化が、人口変動の背景に関する説明因子のひとつとなるかもしれないからである。

また、北太平洋東西沿岸の住民は、北太平洋全体で連動した海洋生態系の変化の影響も受けていたのではないかと考えも提起されている (Fitzhugh et al. 2020)。北海道で観察される人口変動は決してローカルな現象ではなく、少なくともその一部は北太平洋全体の大きな環境変化のうねりが反映されたものなのかもしれないのである。北米側で先行して実施されてきている遺跡出土動物骨を活用した同様の研究との統合によって、将来的にはこうした仮説を検証することもできるようになるであろう。ここでの分析結果は、こうした見通しのもとに今

後行われる研究のなかで重要な意味をもつことになるのは確実である。

## 謝辞

本研究の実施にあたって、以下の方々にお世話になるとともにご教示を頂いた。記して感謝申し上げる。葛谷匠、Ben Fitzhugh、Michael Etnier、Nicole Misarti。本研究は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B) (21H00588)、基盤研究 (B) (18H00748)、学術変革領域研究 (A) (23H04844) の研究成果の一部である。

## 引用文献

- Burton, R. K., Snodgrass, J. J., Gifford-Gonzalez, D., Guilderson, T., Brown, T., and Koch, P. L. 2001. Holocene changes in the ecology of northern fur seals: insights from stable isotopes and archaeofauna. *Oecologia* 128: 107-115.
- Byers, D. A., Yesner, D. R., Broughton, J. M., and Coltrain, J. B. 2011. Stable isotope chemistry, population histories and Late Prehistoric subsistence change in the Aleutian Islands. *Journal of Archaeological Science* 28: 183-196.
- Clark, C., Horstmann, L., and Misarti, N. 2017. Quantifying variability in stable carbon and nitrogen isotope ratios within the skeletons of marine mammals of the suborder California. *Journal of Archaeological Science: Reports* 15: 393-400.
- Crema, E. R., Habu, J., Kobayashi, K., and Madella, M. 2016. Summed probability distribution of  $^{14}\text{C}$  dates suggests regional divergences in the population dynamics of the Jomon period in eastern Japan. *PloS One* 11(4), e0154809.
- Crockford, S. J., Frederick, G., and Wigen, R. J. 2002. The Cape Flattery fur seal: an extinct species of *Callorhinus* in the Eastern North Pacific? *Canadian Journal of Archaeology* 26(2): 152-174.
- Crockford, S. J., Frederick, G., Wigen, R. J., and McKechnie, I. 2004. Analysis of the vertebrae fauna from Amaknak Bridge UNL-50, Unalaska, AK. Appendix F. In R. A. Knecht and R. S. Davis (eds.) *Unalaska South Channel Bridge Project No. MGS-STP-BR-0310(S)/52930*, Amaknak Bridge Site Data Recovery Final Report. Museum of the Aleutians and Alaska Department of Transportation.
- DeNiro, M. J. 1985. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* 317: 806-809.
- Etnier, M. 2002. The effects of human hunting on northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) migration and breeding distributions in the Late Holocene. Ph.D. dissertation. Department of Anthropology, University of Washington.
- Fitzhugh, B., Brown, W. A., and Misarti, N. 2020. Archaeological paleodemography: resilience, robustness and population crashes around the North Pacific Rim. In I. Krupnik and A. Crowell (eds.) *Arctic Crashes: People and Animals in the Changing North*: 43-60. Smithsonian

- Scholarly Press.
- Fitzhugh, B., Brown, W. A., Misarti, N., Takase, K., and Tremayne, A. H. 2022. Human paleodemography and paleoecology of the North Pacific Rim from the Mid to Late Holocene. *Quaternary Research* 108: 123-149.
- Gifford-Gonzalez, D., Newsome, S. D., Koch, P. L., Guilderson, T. P., Snodgrass J. J., and Burton, R. K. 2005. Archaeofaunal insights on pinniped-human interactions in the Northeastern Pacific. In G. G. Monks (ed.) *The Exploitation and Cultural Importance of Sea Mammals* : 19-38. Oxford Books.
- Graham, B. S., Koch, P. L., Newsome, S. D., McMahon, K. W., and Aurioles, D. 2020. Using isotopes to trace the movements and foraging behavior of top predators in oceanic ecosystems. In J. B. West, G. J. Bowen, T. E. Dawson, and K. P. Tu (eds.), *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth through Isotope Mapping*: 299-318. Springer.
- 浜田耕作 1922. 通論考古学. 大鑑閣.
- Hare, P. E. and von Endt, D. 1990. Variable preservation of organic matter in fossil bone, *Annual Report of Director of the Geophysical Laboratory, Carnegie Institution, Washington, 1989-1990*: 115-118. Geophysical Laboratory.
- Hirons, Amy C. 2001. Trophic dynamics of pinniped populations in Alaska using stable carbon and nitrogen isotope ratios. PhD Thesis. Institute of Marine Science, University of Alaska.
- Hobson, E. A., Barnett-Johnson, R., and Cerling, T. 2010. Using isotopes to track animal migration. In J. B. West, G. J. Bowen, T. E. Dawson, and K. P. Tu (eds.) *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth through Isotope Mapping*: 273-298. Springer.
- Lyman, R. L. 1988. Zooarchaeology of Oregon coast marine mammals: the last 3,000 years. *Marine Mammal Science* 4(3): 247-264.
- Masuda, R., Amano, T., and Ono, H. 2001. Ancient DNA analysis of brown bear (*Ursus arctos*) remains from the archaeological site of Reibun Island, Hokkaido, Japan. *Zoological Science* 18: 741-751.
- Matsubayashi, J., Osada, Y., Tadokoro, K., Abe, Y., Yamaguchi, A., Shirai, K., Honda, K., Yoshikawa, C., Ogawa, N. O., Ohkouchi, N., Ishikawa, N. F., Nagata, T., Miyamoto, H., Nishino, S., and Tayasu, I. 2020. Tracking long-distance migration of marine fishes using compound-specific stable isotope analysis of amino acids. *Ecology Letters* 23: 881-890.
- Misarti, N., Finney, B. P., Maschner, H. D. G., and Wooller, M. J. 2009. Changes in Northeast Pacific marine ecosystems over the last 4500 years: evidence from stable isotope analysis of bone collagen from archaeological middens. *The Holocene* 19(8): 1139-1151.
- Moss, L. M., Yang, D. Y., Newsome, S. D., Speller, C. F., McKechnie, I., McMillan, A. D., Losey, R. J., and Koch, P. L. 2006. Historical ecology and biogeography of North Pacific pinnipeds: isotopes and ancient DNA from three archaeological assemblages. *Journal of Island and Coastal Archaeology* 1(2): 165-190.
- Moss, L. M., Rodrigues, A. T., Speller, C. F., and Yang, D. Y. 2016. The historical ecology of Pacific herring: tracing Alaska Native use of a forage fish. *Journal of Archaeological Science: Reports* 8: 504-512.
- Naito, I. Y., Honch, N. V., Chikaraishi, Y., Ohkouchi, N., Yoneda, M. 2010. Quantitative evaluation of marine protein contribution in ancient diets based on nitrogen isotope ratios of individual amino acids in bone collagen: an investigation at the Kitakogane Jomon site. *American Journal of Physical Anthropology* 143: 31-40.
- 中村 大 2020. 北海道南部・中央部における縄文時代から擦文時代までの地域別人口変動の推定（令和元年度函館市縄文文化特別研究）.
- Nakamura, K., Nishimoto, A., Yasui-Tamura, S., Kogure, Y., Nakae, M., Iguchi, N., Morimoto, H., and Kodama, T. 2022. Carbon and nitrogen dynamics in the coastal Sea of Japan inferred from 15 years of measurements of stable isotope ratios of *Calanus sinicus*. *Ocean Science* 18: 295-305.
- 納谷忠義 1969. 稚内～網走国道二三八号線改修工事大岬現場より出土の遺物採集報告.
- Newsome, S. D., Etnier, M. A., Kurle, C. M., Waldbauer, J. R., Chamberlain, C. P., and Koch, P. L. 2007. The historic decline in primary productivity in western Gulf of Alaska and eastern Bering Sea: isotopic analysis of northern fur seal teeth. *Marine Ecology Progress Series* 332: 211-224.
- Newsome, S. D., Etnier, M. A., Gifford-Gonzalez, D., Phillips, D. L., von Tuinen, M., Hadly, E. A., Costa, D. P., Kennett, J., Guilderson, T. P., and Koch, P. L. 2007. The shifting baseline of northern fur seal ecology in the northeast Pacific Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 9709-9714.
- 野村 崇・平川善祥・右代啓視・為岡 進 1993. 加藤正氏資料目録. 北海道開拓記念館一括資料目録, 第25集. 北海道開拓記念館.
- Sambrook, J., Fritsch, E. R., and Maniatis, T. 1989. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*, 2nd ed. Cold Spring Harbor Lab Press.
- 杉崎宏哉・児玉真史・市川忠史・山田圭子・和田英太郎・渡邊朝生 2013. 安定同位体による新食物網解析法—数値の解釈と基礎生産者の同位体比推定記述モデルの検討—. *水産技術*6(1): 57-68.
- Takase, K. 2020. Long-term marine resource use in Hokkaido, Northern Japan: new insights into sea mammal hunting and fishing. *World Archaeology* 51(3): 408-428.
- 高瀬克範 2022. マメ科の人類生態学・歴史生態学. *植生史研究* 31(1-2): 43-57.
- Tsutaya, T., Sawada, J., Dodo, Y., Mukai, H., and Yoneda, M. 2013. Isotopic evidence of dietary variability in subadults at the Usu-moshiri site of the Epi-Jomon Culture, Japan. *Journal of Archaeological Science* 40 (11): 3914-3925.
- Tsutaya, T., Takahashi, T., Omori, T., Yamazaki, K., Sato, T., Yoneda, M., Schulting, R. J., Kato, H., Weber, A. W. 2022. Reconstruction of diachronic changes in human fishing activity and marine ecosystems from carbon and nitrogen stable isotope ratios of archaeological fish

- remains. *Quaternary International* 619: 46-55.
- 右代啓視 1990. 北海道常呂町出土のオホーツク文化式土器—加藤正コレクション—. 北海道開拓記念館調査報告 29: 1-16.
- 右代啓視 1992. 北海道常呂町出土のオホーツク文化の骨角器—加藤正コレクション—. 北海道開拓記念館調査報告 31: 67-86.
- 右代啓視 1999. 第一章先史文化の時代. 稚内市史第二巻, 稚内市史編纂委員会. pp.59-107.
- van Klinken, G. J. 1999. Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *Journal of Archaeological Science* 26: 687-695.
- Wynen, L. P., Goldsworthy, S. D., Guinet, C., Bester, M. N., Boyd, I. L., Gjertz, I., Hofmeyr, G. J. G., White, R. W. G., and Slade, R. 2000. Postsealing genetic variation and population structure of two species of fur seal (*Arctocephalus gazella* and *A. Tropicalis*). *Molecular Ecology* 9: 299-314.
- 米田 穰 2002. 骨が語る食生活. 北の異界—古代オホーツクと氷民文化—. pp.94-96. 東京大学総合研究博物館.

## Phylogenetic and Stable Isotope Analyses of Northern Fur Seal Remains:

### An Examination of Materials from the Sakaeura Daiichi and Ohmisaki 1 Sites Housed in the Hokkaido Museum

TAKASE Katsunori, NISHITA Yoshinori and USHIRO Hiroshi

---

Phylogenetics and isotope analysis of faunal remains from archaeological sites can be powerful tools for reconstructing paleoecology. Studies based on this perspective have been actively conducted in the Americas and Europe. However, archaeofaunal remains in Japan have been used mainly to examine past human subsistence. This study presents the results of DNA and stable carbon, nitrogen, and oxygen isotope analyses of six northern fur seal remains (humeri and mandibles) of the Okhotsk culture from the Sakaeura Daiichi and

Ohmisaki 1 sites in Hokkaido. Although it is still difficult to elucidate the spacio-temporal change of the marine ecosystem around Hokkaido, we confirmed that archaeofaunal remains can contribute to a better understanding of the history of animals, plants, and ecosystems as well as the human economy of the past. In future studies, the long-term history of the marine ecosystem around Hokkaido can be revealed by comparing phylogenetic and isotopic information with the results of this study.

---

TAKASE Katsunori : Graduate School of Humanities and Human Sciences, Hokkaido University

NISHITA Yoshinori : Graduate School of Science, Hokkaido University

USHIRO Hiroshi : History Studies Group, Research Division, Hokkaido Museum

---