

函館市委託研究  
「函館市縄文文化特別研究」  
報告書

平成25年2月28日

弘前大学

## 函館市所蔵アスファルトの考古学的観察

弘前大学人文学部  
上條信彦

はじめに

北海道南部の渡島半島では、アスファルト塊が検出される遺跡が複数あり、交易の拠点あるいはこれらを扱う専門集団の存在が想定されている。そのなかで、アスファルトの産地と交易ルート、あるいは使用法に関する検討は重要である。本稿では、函館市教育委員会の協力により、アスファルトの観察、成分分析をする機会を得たため、その観察結果について記述したい。

アスファルト付着土器（図 1・表 1）

臼尻 C 遺跡 2 点（資料 1・2、図版番号に対応）を観察した。いずれも後期後半の資料である。資料 1 は H-13 号住居址内で 5cm ほどの土器片にアスファルトが厚く付着している。土器片は鉢か深鉢の体部下半の一部である。土器片の断面を観察すると、断面もアスファルトで覆われており、一部は外面まではみ出していること、またアスファルトそのものは破損していないことの 2 点を考慮すると、アスファルト付着土器の破片ではなく、土器片をアスファルトのパレットとして再利用したと考えられる。

そのアスファルトを拡大して観察すると、表面は滑らかで緩やかな凹凸が認められる。このことから、一端溶けて、ペースト状になった塊を土器片の上に乗せたとみられる。また肉眼観察ではアスファルトの内部に礫や砂などの不純物はほとんどない。

資料 2 は手稻式の鉢内部の底にまとまっている。底に溜まったアスファルトの厚さは 2cm ほどと厚く、土器内面の形状に変形していることから、一度融解させたものが凝結したものと推定される。拡大して観察すると、表面は比較的粗く、径 1~2cm の小塊が結合したようにみえる。また中央には長さ 4cm ほどの黒い光沢面がみられる。これはその形状から土器片とみられる。したがって、本資料は鉢のなかで液体化しない程度の低い温度で融解し、凝結する前にアスファルトの中へ土器片が混入あるいは、挿入されたと想定される。土器片の混入の要因は不明だが、他遺跡でも土器片や棒状礫が挿入されたままの事例が見られるため、土器片が攪拌用の籠として使われていた可能性もある。

アスファルト塊（図 2・表 1）

豊崎 B 遺跡 1 点（資料 3）、豊崎 P 遺跡 1 点（資料 4）の資料を分析した。資料

3は、堂林・三ツ谷式期の住居址床面から検出されたものである。アワビ貝殻に入っていたとみられ、アスファルト塊には連続する突起などアワビ貝殻内面に特徴的な印象形がみられる。その反対側の露出部分を観察すると、長軸に沿って複数の窪んだ筋がある。これらの筋はアスファルトを貝殻に充填させた際の皺とみられる。また側面をみると、アワビ貝殻の縁部よりもアスファルト頂部のほうが盛り上がっていることが分かる。したがって、アワビ貝殻への充填は、液体化したアスファルトではなく、柔らかい団子状のアスファルトを充填したと見られる。肉眼観察ではアスファルトの内部に礫や砂などの不純物はほとんどない。

資料4は後期中葉～末の竪穴住居址の床面の凹部に溜まっていたものである。液体化したアスファルトが流れ込んだもので、側面が楕形になっている。アスファルトの加工状況が分かる資料として貴重である。

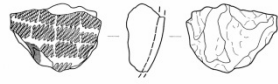
#### 参考文献

坪井睦美・荻野幸男・吉田力 2007『函館市 白尻 C 遺跡』（函館市教育委員会 函館市埋蔵文化財事業団発掘調査報告書 第2輯）

坪井睦美・荻野幸男・松崎水穂 2010『函館市 豊崎 B・P 遺跡』（函館市教育委員会・特定非営利活動法人 函館市埋蔵文化財事業団発掘調査報告書 第7輯）

表1 アスファルト分析試料

試料 番号	出土遺跡	資料	出土位置	主体時期	報告書番号	備考	長さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)	重さ(g)
1	臼尻 C 遺跡	土器付着	H-13	堂林・三ツ谷式	第 56 図 10	内面	—	—	—	—
2	臼尻 C 遺跡	土器付着	Ⅲ層	手稻式	第 106 図 44	鉢内面	90	80	22	—
3	豊崎 B 遺跡	塊	PD-8(床面)	堂林・三ツ谷式	第Ⅱ-20 図 13	3155±20BP(床面 炭化材)	137	98	52	366.4
4	豊崎 P 遺跡	塊	PD-2	後期中葉～末	第Ⅲ-8 図		162	103	35	144.2



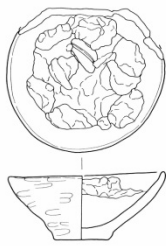
坪井ほか2007 第56図10



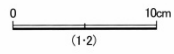
アスファルト拡大



1 臼尻C遺跡 アスファルト付着土器



坪井ほか2007 第106図24



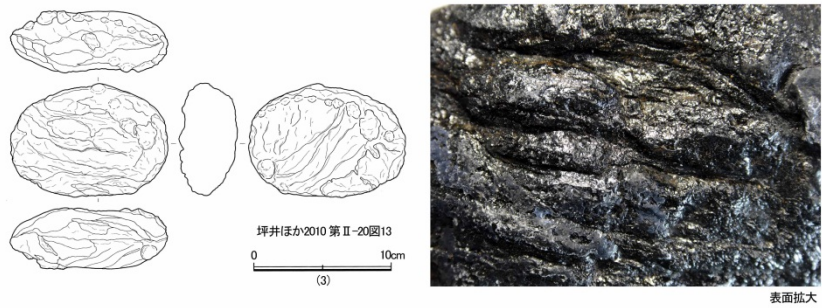
上面



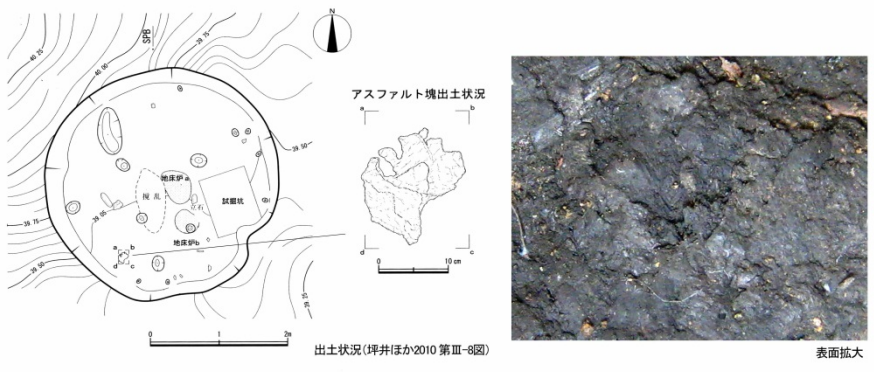
アスファルト拡大

2 臼尻C遺跡 アスファルト付着土器

図1 分析資料1



3 豊崎B遺跡 アスファルト塊



4 豊崎P遺跡 アスファルト塊

図2 分析資料2

# 函館市内の縄文遺跡から出土するアスファルトの原産地推定

弘前大学大学院理工学研究科  
氏家良博

## 1. はじめに

アスファルトは、高い粘性と撥水性を有し、熱を加えると容易に融解する性質を持つため、有史以前から接着剤、防腐剤、防水剤などに使用されてきた。

天然アスファルトが数多く産出する中東の死海地域では、アスファルトに含まれる飽和炭化水素化合物・芳香族化合物・極性化合物（レジン・アスファルテン）の全体組成、 $\delta D$  や  $\delta^{13}C$  等の同位体組成、バイオマーカーの特性を用いて、遺跡から出土するアスファルトの原産地推定が試みられてきた（例えば Connan et al., 1992）。

日本でも東北・北海道地域に分布する縄文遺跡からアスファルトが出土しており、バイオマーカーやパラフィン成分の分子量分析（小笠原, 1999）、イオン化質量分析やガスクロマトグラフィー質量分析（小笠原・阿部, 2007 ; Kato et al., 2008）が行われ、原産地推定が試みられた。

弘前大学理工学部有機地質学研究室では、これまでに青森県内の縄文遺跡から出土するアスファルトについて元素組成、マセラル組成、反射率の分析を行い、その分析結果を用いた原産地推定を行ってきた（氏家・伊藤, 2012 ; 氏家ほか, 2010, 2011, 2012）。

本報告では、函館市の臼尻及び豊崎の縄文遺跡から出土するアスファルトの元素組成、マセラル組成、反射率を分析して、その結果を他地域の遺跡出土アスファルトや天然アスファルトの分析値と比較検討し、それぞれの原産地推定を試みる。

## 2. 分析試料

### (1) 遺跡出土アスファルト

#### 1) 臼尻遺跡

本報告では、次の3試料を分析した。

本報告書での試料名	出土遺跡	試料	遺跡報告書番号
臼尻①	臼尻 C 遺跡	土器付着	函 106-44
臼尻②	臼尻 C 遺跡	土器付着の破片	函 106-44
臼尻③	臼尻 C 遺跡	裏に土器付着	函 56-10

## 2) 豊崎遺跡

本報告では、次の2試料を分析した。

本報告書での試料名	出土遺跡	試料	遺跡報告書番号
豊崎①	豊崎 B 遺跡	アワビ殻(跡)の中に保存	図Ⅱ-20 13
豊崎②	豊崎 P 遺跡	No. 58100 試料 ④ ～⑦の破片	図Ⅲ-8

## 3) その他の遺跡

比較検討した函館市以外の縄文遺跡出土試料については、以下の文献に分析値等が記載されている。

- ・山田遺跡、石江遺跡、中居林遺跡、三内丸山遺跡：氏家ほか（2010）
- ・坂元遺跡、実吉遺跡：氏家ほか（2011）
- ・後潟遺跡：氏家ほか（2012）
- ・不備無遺跡：氏家・伊藤（2012）
- ・豊崎 N 遺跡、苫小牧Ⅲ遺跡、美々Ⅱ遺跡、伊勢堂岱遺跡、潟前遺跡、小袋岱遺跡、昭和町（1）遺跡、赤坂田Ⅱ遺跡、川口Ⅱ遺跡、相ノ沢遺跡、大入遺跡：小笠原（1999）

### （2）天然アスファルト

比較対象とした天然アスファルト試料は以下の6試料である。

- 1) 豊川③：秋田県潟上市昭和豊川槻木の豊川油田から採取された粘性の高い半固体状アスファルトを200℃で6時間加熱したものを分析試料とした。
- 2) 豊川：秋田県潟上市昭和豊川槻木真形尻のアスファルト採掘跡から採取した半固体状アスファルトである。
- 3) 昭和町：秋田県潟上市昭和豊川槻木の豊川油田から産出したものと推定される。詳細は氏家ほか（2010）に記載してある。
- 4) 蟹田：青森県北津軽郡外ヶ浜町蟹田に分布する硬質頁岩の割れ目から産出する固体状アスファルトである。詳細は氏家ほか（2010）に記載してある。
- 5) 駒形：秋田県能代市二ツ井町駒形のエスケイエンジニアリング（株）二ツ井オイルサンド鉱山で採取した粘性の高い半固体状のアスファルトである。200℃で6時間加熱したものを分析試料とした。



6) 頸城：市販の鉱物標本として購入した土瀝青である。産地としては、新潟県頸城郡龍毛村と記されている。

### 3. 分析方法

#### (1) アスファルトのブリケット生成

##### 1) 試料の包埋

ビューラー社製エポキシ系常温硬化樹脂エポキュアーを用いて、ブリケット(反射顕微鏡観察用の試料)を作成する。エポキュアーの主剤(20-8130-032)と硬化剤(20-1832-008)を重量比 5:1 の割合で 10 分間混ぜ合わせる。混合液の色が白っぽくなった状態で約 1 分間放置する。次に、面積が 1cm<sup>2</sup>程度になるようアスファルト試料を成型リングに入れ、その中に主剤と硬化剤の混合液を注ぐ。その後一晩自然乾燥させ、固化していることを確認し整形リングから取り出す。

##### 2) ブリケットの研磨

ブリケットの表面の研磨は、粗研磨、中間研磨、最終研磨の 3 段階に分けて行う。研磨にはビューラー社製卓上型 8 インチ研磨機エコメット 3 を用いる。

###### ① 粗研磨

粗研磨はビューラー社製耐水研磨紙カービメットペーパーディスク 8 インチ粒度 # 320 を貼った研磨盤を用いる。研磨盤を水で濡らし、研磨盤の回転数を 100rpm にし、一方向研磨が終了したら試料の向きを 90° ずらし、同じ回数手動で順に 4 方向研磨する。包埋された試料が表面に浮き出てくるまで研磨する。

###### ② 中間研磨

中間研磨はエコメット 3 研磨機にビューラー社製自動研磨装置オートメット 2 を組み合わせて行う。ビューラー社製ペーパーディスク 8 インチ粒度 # 600 を貼った研磨盤を用いる。研磨盤を水で濡らし、ブリケット 1 個あたりの荷重を 2 ポンド、研磨盤の回転数を 100rpm、試料ホルダーの回転方向を反時計回りに設定し、5 分間研磨を行う。ブリケットに包埋されている試料が十分に表面に出るまで研磨を繰り返す。

###### ③ 最終研磨

最終研磨はエコメット 3 研磨機にビューラー社製自動研磨装置オートメット 2 を組み合わせて行う。ビューラー社製バフ・マイクロクロス 8 インチを貼った研磨盤を用いる。研磨剤としてビューラー社製の粒度 0.05 μm のマイクロポリッシュを使用する。ブリケット 1 個あたりの荷重を 5 ポンド、研磨盤の回転数を 120rpm、試料ホルダーの回転方向を反時計回りに設定し、6 分間研磨を行う。

## (2) 元素分析

C, H, N, O の元素分析は、柳本製作所 CHN コーダ MT-5 を使用し、分析装置の標準的な手順に従い行う。C, H, N 分析のキャリアガスには He、助燃ガスには O<sub>2</sub> を使用し、各々の流量を毎分 180ml と 20ml に設定して行う。各設定温度は燃焼炉 950°C、酸化炉 850°C、還元炉 550°C、ポンプ恒温槽 100°C である。ブリッジカレント電流は H を 85mA、C を 65mA、N を 120mA に設定する

酸素分析のキャリアガスには He を使用し、流量は毎分 180ml に設定する。各設定温度は燃焼炉 1050°C、酸化炉 1000°C、還元炉 300°C である。ブリッジカレント電流は 85mA に設定する。

試料は、分析直前まで真空デシケーター内で 1 日以上真空乾燥させ、分析する。

## (3) マセラル分類

反射顕微鏡下でアスファルトのマセラル分類を行う。マセラルとは石炭の顕微鏡的構成単位体であり、反射顕微鏡下で反射率と形態的特徴から Stach et al.

(1982) 及び ICCP (1998, 2001) に基づいて同定する。マセラルは反射率の違いから高等植物の材由来の vitrinite グループ、酸化した有機物や菌核由来の inertinite グループ、植物の葉や花粉・孢子由来の liptinite グループの 3 つのマセラルグループに大別されており、さらに形態的特徴から多数のマセラルに細分されている。

反射顕微鏡には Carl Zeiss Micro Imaging 製 Axio Imager A2m を使用する。顕微鏡の光源にはハロゲンランプを用い、波長 546nm の単色光用フィルターを通して、倍率は 500 倍（接眼レンズ 10 倍、対物レンズ 50 倍）で観察する。浸油には Carl Zeiss 製イマージュンオイル 518C を使用する。マセラル組成の測定にはポイントカウント法を用い、100 μm の走査間隔で 400 点測定する。

## (4) amorphinite 反射率の測定

反射率は、反射顕微鏡下でブリケットに一定強度の単色光を試料表面に垂直に入射させ、その反射光の強度を光電増倍管で検出し、標準試料と比較して求める。反射顕微鏡には Carl Zeiss Micro Imaging 製 Axio Imager A2m を使用し、反射率測定装置には、J & M Analytic AG 製顕微分光光度計 MSP200 を使用する。顕微鏡の光源にはハロゲンランプを用い、波長 546nm の単色光用フィルターを通し、50 倍の対物レンズを通して測定する。アスファルトは油浸により、その表面が変質するため、浸油をつけずに乾燥系で反射率の測定を行う (Xiao et al., 1998)。標準試料には、GADOLINIUM-GALLIUM-GARNET (反射率=10.80%)、SAPHIR (反射率=7.70%) 及び、Scott 社製減光ガラス (反射率=4.38%) を使用する。

測定対象は amorphinite とする。Amorphinite は、liptinite グループに属する不定形質無組織で蛍光を発するマセラルである。1 試料につき 50 点反射率を測定する。

#### (5) クラスタ分析

元素分析、マセラル分類、反射率測定によって導き出された H/C 原子比、O/C 原子比、liptinite の含有率、vitrinite の含有率、inertinite の含有率、amorphinite 反射率を変数とし、各々の値の最大値が 100、最小値が 0 になるように規格化し、クラスタ分析を行う。分析ソフトは IBM SP-SS Statistics version 21 を使用する。(H/C 原子比+O/C 原子比) : (liptinite の含有率+vitrinite の含有率+inertinite の含有率) : amorphinite 反射率が 1 : 1 : 1 になるように変数を調整し、階層クラスタを選択し、分析を行う。

### 4. 分析結果と考察

#### (1) 元素組成

白尻及び豊崎遺跡出土アスファルト試料の元素分析の結果を表 1 に示す。豊崎①の試料はアワビ殻に積み込まれたアスファルトで、他の遺跡出土アスファルト試料と比較して、灰分は 0.64% と非常に小さい。アワビ殻に入れられたアスファルト試料は有機物の純度が高く、不純物の混入がほとんどなかったと考えられる。一方、同じ豊崎遺跡から出土した豊崎②は灰分が 46.86% と多く、不純物である無機成分を半分近く含有している。

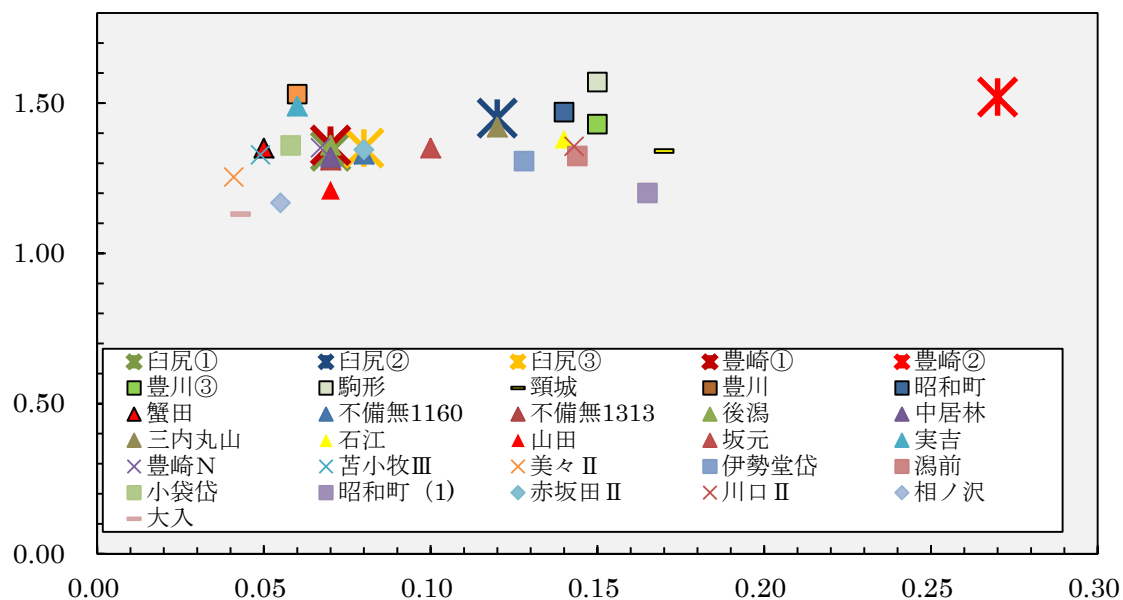
表 1 白尻及び豊崎遺跡出土アスファルト試料の元素組成

試料名	各元素の重量(wt%)					原子比	
	H	C	N	O	灰分	H/C	O/C
白尻①	8.90	79.82	1.32	7.38	2.63	1.34	0.07
白尻②	6.51	54.01	0.75	8.67	25.21	1.45	0.12
白尻③	8.67	77.27	1.19	8.09	11.81	1.35	0.08
豊崎①	9.75	86.19	1.22	7.48	0.64	1.36	0.07
豊崎②	4.56	36.06	0.64	9.62	46.86	1.52	0.27

元素分析の結果を Van Krevelen ダイアグラム (H/C 原子比対 O/C 原子比) 上にプロットしたものを図 1 に示す。白尻①、白尻②、白尻③、豊崎①は H/C 原子比が 1.34~1.45、O/C 原子比が 0.07~0.12 となり、比較的類似した値を示す。特に、白尻①、白尻③と豊崎①の値は極めて近い。しかし、豊崎②は H/C 原子比が 1.52、O/C 原子比が 0.27 と他の 4 試料とは大きく異なる特徴を示す。全体

的に見ると、元素組成に関しては、豊崎②を除く 4 試料の類似性が認められる。

### H/C 原子比



### O/C 原子比

図 1 Van Krevelen ダイアグラム上での白尻及び豊崎遺跡出土アスファルト試料の元素組成

本報告の分析値(大きなシンボル)に小笠原(1999)、氏家ほか(2010, 2011, 2012)、氏家・伊藤 (2012) のデータを加えた。

### (2) マセラル組成

白尻及び豊崎遺跡出土アスファルト試料のマセラル組成を表 2 に示す。全ての試料で amorphinite が優勢で、マセラル全体の 89.8%~98.8%を占める。マセラルグループ別で見た場合、全ての試料で amorphinite の属す liptinite グループが 84.6%~98.8%を占めるが、liptinite グループに amorphinite 以外のマセラルは認められない。

表2 白尻及び豊崎遺跡出土アスファルト試料のマセラル組成

マセラルグループ	マセラル	白尻①	白尻②	白尻③	豊崎①	豊崎②
		割合(%)	割合(%)	割合(%)	割合(%)	割合(%)
liptinite	amorphinite	97.8	98.8	97.5	90.0	89.8
	小計	97.8	98.8	97.5	90.0	89.8
vitrinite	telinite	1.3	0.8	2.0	8.5	7.5
	collotelinite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	gelinite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	corpogelinite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	vitrodetrinite	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3
	小計	1.8	0.8	2.0	8.5	7.8
inertinite	fusinite	0.0	0.3	0.0	1.5	2.5
	semifusinite	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
	inertodetrinite	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0
	小計	0.5	0.6	0.5	1.5	2.5
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

アスファルトのマセラル組成の結果を三角ダイアグラム上にプロットしたものを図2に示す。白尻①、白尻②と白尻③の3試料、及び豊崎①と豊崎②の2試料はそれぞれ極めて近い値を示し、遺跡ごとの類似性が認められる。

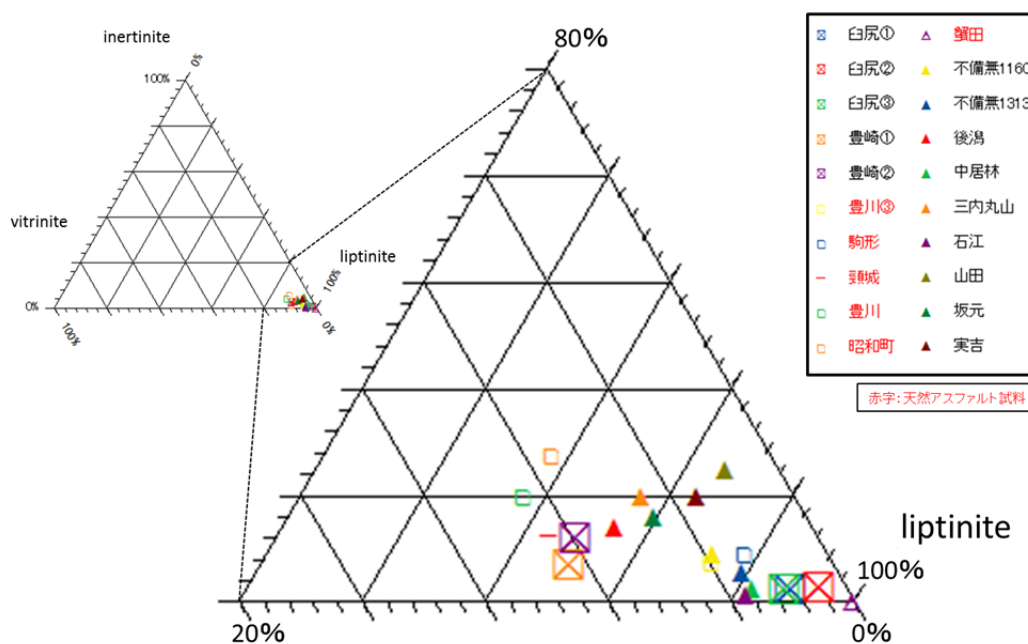


図2 三角ダイアグラム上でのアスファルト試料のマセラル組成

### (3) amorphinite 反射率

白尻及び豊崎遺跡出土アスファルト試料の amorphinite 反射率の測定結果を表3に示す。他のアスファルト試料とも比較して、amorphinite 反射率の平均値をみると、白尻遺跡出土アスファルトの値は 5.88~5.94%、豊崎遺跡出土のアスファルトの値は 5.73~5.78%と遺跡ごとによい一致を示す。標準偏差を考慮すると白尻遺跡と豊崎遺跡から出土するアスファルトの値は重なり合い、極めて高い類似性が認められる(図3)。

表3 白尻及び豊崎遺跡出土アスファルト試料の amorphinite 反射率

試料名	平均反射率(%)	標準偏差(%)	データ範囲(%)
白尻①	5.90	0.171	5.61-6.15
白尻②	5.88	0.207	5.60-6.35
白尻③	5.94	0.254	5.61-6.34
豊崎①	5.78	0.170	5.50-6.06
豊崎②	5.73	0.163	5.51-6.18

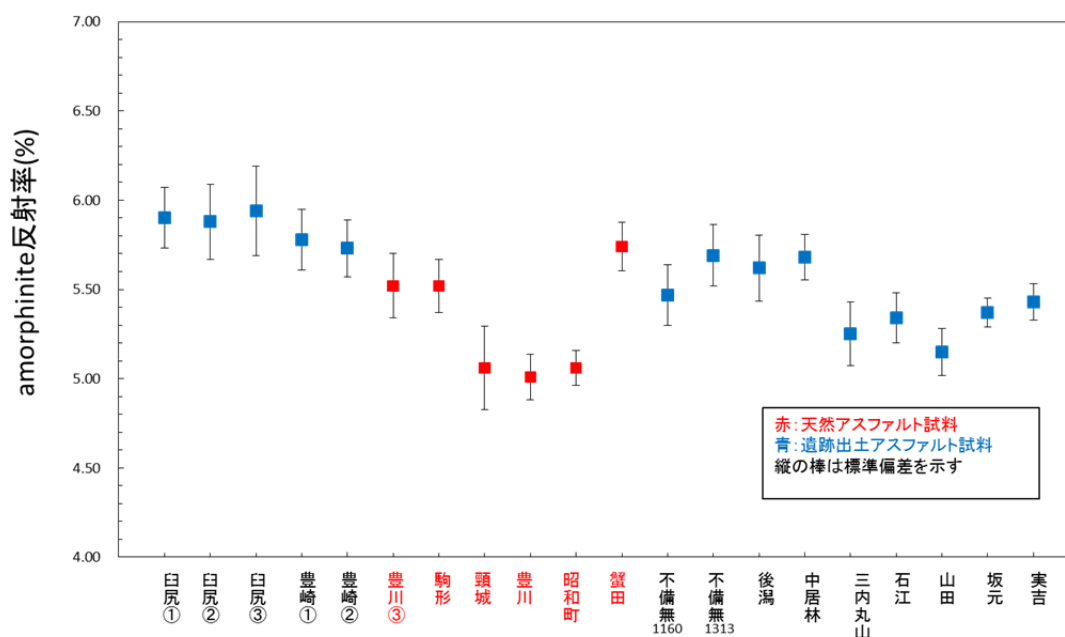


図3 天然及び遺跡出土のアスファルトの amorphinite 反射率

### (4) クラスタ分析

白尻及び豊崎遺跡出土アスファルトの全分析データに、これまで分析した青森県内の縄文遺跡から出土するアスファルト及び天然アスファルトのデータ、

さらに未公表であるが秋田県内の烏野上岱及び堀之内遺跡、岩手県内の板子屋敷及び浜岩泉遺跡から出土するアスファルトのデータを加えてクラスター分析した結果を図4に示す。縦軸は分析試料、横軸は結合距離を示している。結合距離の数値が小さいほど、結びつき度合いが強い。臼尻遺跡の3試料は結合距離が1と結びつきが非常に強いことが判明したが、豊崎遺跡の2試料は結合距離が11であまり結びつきが強いではない。

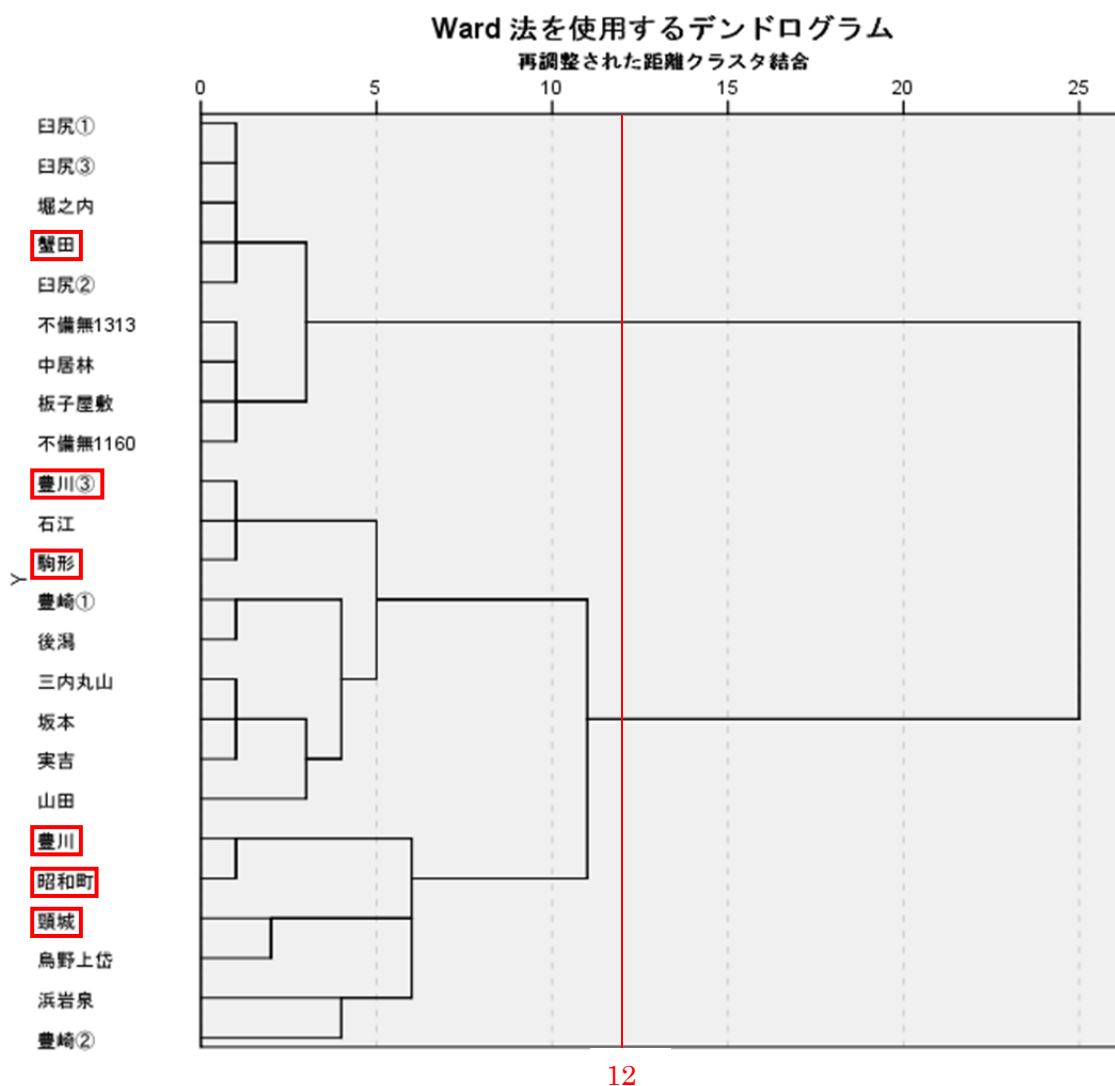


図4 天然及び遺跡出土のアスファルトのクラスター分析結果  
赤い括弧は天然アスファルトを示す。

この図を見ると、結合距離12を基準とすると2つのクラスターに、結合距離7を基準とすると3つのクラスターに分けることが可能である。この様に基準とする結合距離によってクラスターの数は増減する。そこで、豊川油田産のアス

ファルトである豊川③、豊川、昭和町の3試料が同じクラスターに入るという前提を置くと、結合距離12が分類基準になる。この基準に基づくと、遺跡出土アスファルトは「豊川と駒形の天然アスファルトに近いもの」と、「それ以外のもの」とに二分できる。豊崎遺跡出土アスファルトは2試料とも「豊川と駒形の天然アスファルトに近い」クラスターに所属し、臼尻遺跡の3試料は全て「それ以外」のクラスターに所属する。

## 5. まとめ

元素組成、マセラル組成及び amorphinite 反射率から、臼尻遺跡出土のアスファルト3試料と豊崎遺跡出土のアスファルト2試料の類似性を検討した。臼尻遺跡の3試料は3つのパラメーターいずれも近い値を示し、同一のアスファルトに由来した可能性が高い。豊崎遺跡の2試料はマセラル組成と amorphinite 反射率で近い値を示すが、元素組成では隔たった値を示した。青森、秋田と岩手の縄文遺跡から出土するアスファルト及び天然アスファルトのデータを加えたクラスター分析の結果も同様で、臼尻遺跡の3試料は極めて高い結びつきを示したが、豊崎遺跡出土の2試料はあまり高い結びつきを示さない。

クラスター分析に基づけば、今回分析した全てのアスファルトは「豊川と駒形の天然アスファルトに近いもの」と、「それ以外のもの」との2つのクラスターに分けることができる。豊崎遺跡出土のアスファルト2試料は前者に、臼尻遺跡出土のアスファルト3試料は後者に属し、同じ函館市内の縄文遺跡でも、出土するアスファルトの起源は異なる可能性が示唆される。

## 6. 謝辞

函館市縄文文化交流センターの阿部千春館長、坪井睦美氏からは有益なご助言をいただき、臼尻遺跡と豊崎遺跡出土のアスファルト試料をご提供いただいた。駒形の天然アスファルト試料は、エスケイエンジニアリング株式会社二ツ井オイルサンド鉱山から採取させていただき、データの公表許可も頂いた。試料採集に際しては、同社地質部 佐々木榮一氏(豊川をヨイショする会会長)にご案内いただいた。豊川③試料は、豊川をヨイショする会の平野俊彦氏からご提供いただいた。分析に際しては弘前大学学生、川村啓一郎氏と弘前大学特別研究員の相澤武宏博士にお世話になった。以上の方がたに御礼を申し上げる。

## 6. 引用文献

Connan J., Nissenbaum A., Dessort D. (1992) Export of Dead Sea asphalt to Canaan and Egypt in the Chalcolithic-Early Bronze Age (4th-3rd



- millennium). *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 56, pp. 2743-2759.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (1998) The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, Vol.77, No.5, 349-358.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (2001) The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, Vol.80, 459-471.
- Kato K., Miyano A., Ito J., Soga N. and Ogasawara M. (2008) The search for the origin of bitumen excavated from archaeological sites in the northernmost island in Japan by means of statistical analysis of FI-MS data. *Archeometry*, 50, 1018-1033.
- 小笠原正明 (1999) アスファルトの化学分析と原産地. 考古学ジャーナル、No.452、2-5、ニュー・サイエンス社。
- 小笠原正明・阿部千春 (2007) 天然アスファルトの利用と供給。小杉康・谷口康浩・西田泰民・水ノ江和同・山野健一編集；縄文時代の考古学 6 ものづくり—道具製作の技術と組織—、256-267、同成社。
- Stach E., Mackowsky M.-Th., Teichmüller M., Taylor G.H., Chandra D. and Teichmüller R. (1982) *Stach's Textbook of Coal Petrology (third revised and enlarged edition)*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535p.
- 氏家良博・布施辰弥・下総麻衣子・相澤武宏 (2010) 山田 (2) 遺跡出土のアスファルトの成分分析と原産地の推定。青森県埋蔵文化財調査センター編集；青森県埋蔵文化財調査報告書、第 495 集、山田 (2) 遺跡Ⅱ、294-300、青森県教育委員会。
- 氏家良博・伊藤秀平 (2012) 不備無遺跡から出土したアスファルトの成分分析と原産地の推定。関根達人・上條信彦編集；下北半島における亀ヶ岡文化の研究 青森県むつ市不備無遺跡発掘調査報告書 (弘前大学人文学部日本考古学研究室研究報告 8)、第二分冊 本文編 2、89-95 頁。弘前大学人文学部付属亀ヶ岡文化研究センター。
- 氏家良博・伊藤秀平・金今さやか・相澤武宏 (2012) 後潟 (1) 遺跡出土のアスファルトの成分分析と原産地の推定。青森県埋蔵文化財調査センター編集；青森県埋蔵文化財調査報告書、第 512 集「四戸橋富田遺跡・後潟 (1) 遺跡Ⅱ」、119-122 頁。青森県教育委員会。
- 氏家良博・金今さやか・下総麻衣子・相澤武宏 (2011) 第 3 節 坂元 (2) 遺跡出土のアスファルトの成分分析と原産地の推定。青森県埋蔵文化財調査センター編集；青森県埋蔵文化財調査報告書、第 505 集、坂元 (1) 遺跡・坂元 (2) 遺跡Ⅱ、141-147。
- Xiao Xianming, Wilkins R. W. T., Liu Zufa and Fu Jiamo (1998) A preliminary

investigation of the optical properties of asphaltene and their application to source rock evaluation. *Organic Geochemistry*, Vol.28, No.11, 669-676.