

プラント・オパール分析を用いた秋田県沿岸・天王砂丘における古環境の復元

早田圭佑

1. はじめに

秋田平野東部に位置する砂丘（図1）は、秋田砂丘（角田，1975）や天王砂丘（草薙，1975）とも呼ばれ、北部の能代砂丘とともに、秋田県を代表する海岸砂丘である。

従来、海岸砂丘の地形発達に関して様々な研究が行われてきた。成瀬（1989）によると、日本における海岸砂丘研究は小牧（1926）を嚆矢とし、大矢・市瀬（1958）、そして阪口（1958）によって詳細な砂丘形成期の問題が論じられてきた。その後、日本列島全体の海岸砂丘の編年を行った遠藤（1969）は、旧期クロスナ層を鍵層に完新世の砂丘を旧砂丘（Do：6,000～3,000y.B.P）と新砂丘（Dy：1,800～500y.B.P）とに区分し、さらに旧砂丘はDo I（6,000～4,000y.B.P）と北日本を中心に分布するDo II（3,500～3,000y.B.P）に細分されるとした。

2. 調査地域の地形概観

本調査地域にみられる砂丘列は大きく第Ⅰ～Ⅲに区分される（白石，1986，1990）。海側に向かうにつれ、形成時期は現在に近づく。

第Ⅰ砂丘は、縄文時代前期（約6,000年前）、すなわち「縄文海進」の時代に形成されたと考えられている（潟上市，2010）。縄文海進時の海水準は、現在より4mほど高かったとされている（太田ほか，1990）。現在の潟上市あたりの海底で、雄物川が日本海に運び込んだ砂が、沿岸流により男鹿島と日本列島の間で堆積し、海岸砂州を形成していたと考えられる（白石，1993）。その後、気候の寒冷化が生じ（松島，1983）、「縄文の小海退」（太田ほか，1982，1990）が起こり、第Ⅰ砂丘は形成された。

第Ⅱ砂丘は、海面が少し上昇した縄文時代中期に形成されたと考えられている。海面が上昇することにより、海が陸側に入り込み、陸が侵食される。しかし、白石（1990）は、現在、天

王砂丘が存在する秋田県沿岸域は完新世以降隆起しているため、先の時代に形成されていた第Ⅰ砂丘は侵食されなかったと指摘している。またこの当時、砂丘の核となる浜堤が形成された。縄文時代中期の最高海面期は、松島（1979）によると、4,300年ほど前と推定されている。その後、太田ほか（1990）が指摘する、いわゆる「弥生の小海退」（3,000～2,000年前）が発生し、海面が低下、高海面期に形成された浜堤を核にして第Ⅱ砂丘が形成されたと考えられる。

第Ⅲ砂丘は、1,300年前（奈良時代）～1,200年前（平安時代）の海面上昇、いわゆる「平安海進」（小野，1974；豊島，1978）後の海面低下期に形成されたと考えられる。白石（1990）は、秋田市南部の下浜海岸東方の砂丘内に十和田-a火山灰（To-a）が挟在するとし、その年代をAD915年（町田・新井，2003）としており、これは平安海進後に第Ⅲ砂丘が形成されたことと調和的である。

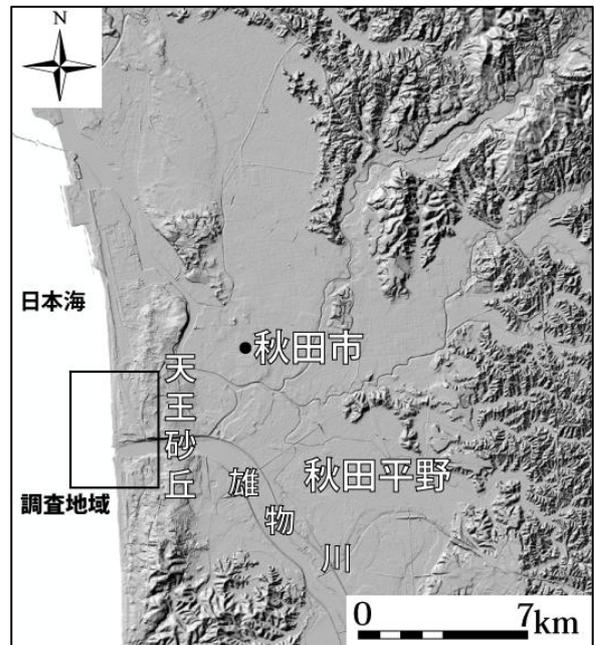


図1 調査地域概観図

国土地理院5mメッシュを基に、ArcGIS10.6.1で作成。

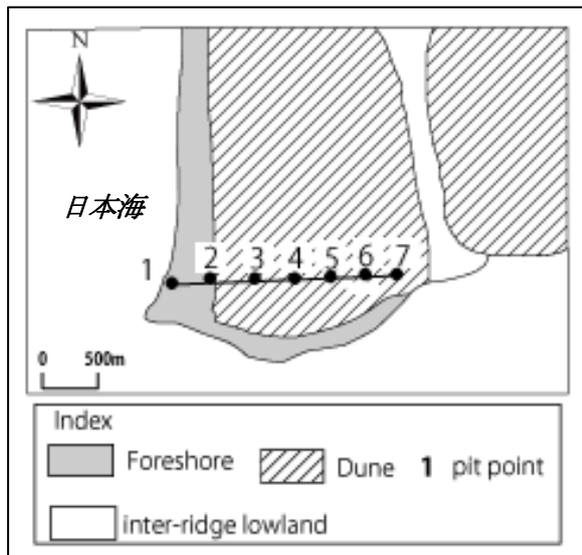


図2 調査範囲の地形分類図

米軍および国土地理院撮影の空中写真判読をもとに作成。基図は2万5千分の1数値地図を使用。

3. 天王砂丘に関する既存研究

天王砂丘に関する既存研究としては、三井(1966)、角田(1975)、日本海中部地震災害(1983年)秋田大学地質調査班(1986)、白石・柴田(1986)、白石(1986・1990・1993)が挙げられる。

三井(1966)は、天王砂丘の各砂丘の曲率(曲がり具合)および砂丘間低地の発達状態から、内陸側から第Ⅰ砂丘地、第Ⅱ砂丘地、第Ⅲ砂丘地に分類している。角田(1975)は、第Ⅰ砂丘地・第Ⅱ砂丘地は縄文時代後期以前に形成され、縄文時代後期以降は、砂丘地は固定しており、また海岸に近い場所では縄文時代晩期以降に砂層の堆積があり、第Ⅲ砂丘地が形成されたことを明らかにした。

しかし、本調査地域である秋田砂丘の古環境の復元を行った研究は、周辺の八郎潟の古環境を花粉分析から復元したものは見当たすが(辻, 1981など)、天王砂丘を直接研究としたものは見当たらない。

そこで本研究は、天王砂丘における縄文海進以降どのような環境を経て現在に至ったのかを、プラント・オパール分析と既存研究を合わせ

ることで、復元することを目的とする。

4. 研究方法

本研究では、以下の方法で行った。まず、対象地域の地形を把握するため米軍および国土地理院撮影の空中写真を基に写真判読を行い、地形分類図を作成した(図2)。その後、天王砂丘の古環境を復元するため、現地にてプラント・オパールを約100cmのピット(計11地点)により採取した。また、オートレベルを用いて天王砂丘の地形断面図を作成した(図3)。そのうち7地点(以下 Loc.1~7 と表記)で検出されたプラント・オパールとそこから推定される環境を整理し、天王砂丘における古環境変遷を検討した。

(1) プラント・オパールに関して

プラント・オパールとは、高等植物の細胞に非晶質含水珪酸($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)が沈積することにより形成される生体鉱物である(近藤, 2010)。通常、植物珪酸体は無色から淡いピンク色をしているが、褐色や黒色のものも稀に見られる。プラント・オパールを古環境復元に用いる利点としては、台地や丘陵などに堆積した乾燥した土の中では花粉が残りにくいという難点がある一方で、プラント・オパールはそうした乾燥した土の中でも残存する点にある(江口, 2006)。江口(1994, 1995)では、河口付近に分布する砂丘の古環境を、プラント・オパールを用いて復元しており、砂丘地の古環境復元にプラント・オパールが有効であることが示されている。

(2) プラント・オパール分析の方法

プラント・オパール分析の方法として、江口(1993, 1994, 1995, 1996)、藤原(1976)、村本・山岡(2001)などが挙げられるが、本研究は飯田(2015MS)でその有効性が示されている村本・山岡(2001)によった。手順は以下の通りである。

①試料を乾燥器で110°を維持しながら2日間乾燥させる。②乾燥させた試料1gとガラスビーズ0.02gを、濃度10%に希釈した過酸化水素水

に入れ、有機物の分解を発泡が収まるまで行う（2~3日程度）。③分解後、超音波洗浄機で懸濁させ、沈降法により目的の粒径のフラクションで回収する。④回収した試料を、110°・1日乾燥させ、試料を120 μ mメッシュに通し、目的の粒径試料を回収する。⑤120 μ m以下の試料を光硬化剤で包埋し永久プレパラート作成する。⑥プレパラートを400倍の生物顕微鏡下で検鏡し、種同定と計数を行う。⑦観察されたプラントオパールを撮影し、近藤（2010）を参考に種の同定を行い、その上で視野当たりのガラスビーズ数とプラント・オパール数を数え、ガラスビーズ数の合計が400個以上になるまで行う（ほぼプレパラート1枚分の精査に相当）。⑧検鏡結果は、計数値を試料1g中のプラント・オパール個数（試料1g当たりのガラスビーズ個数に、計数されたプラント・オパールとガラスビーズの個数の比率を乗じて求める）に換算し、それをさらに割合に直して示す。

5. 断面図から層序・層相の記載

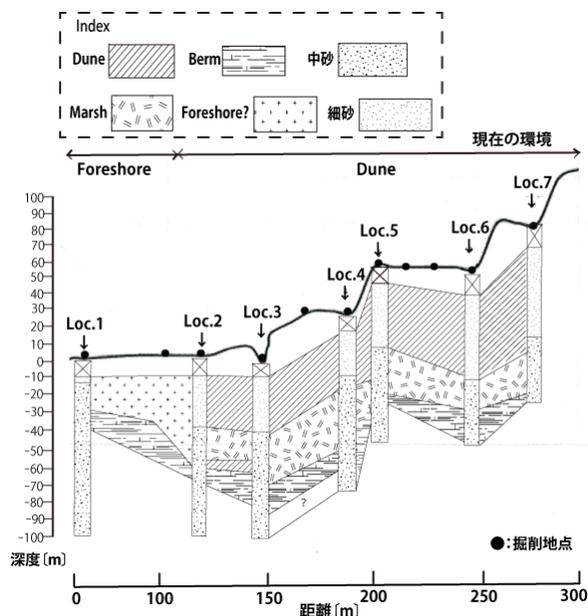


図3 調査地域の断面図
断面図の位置は図2を参照。

現地でのピット調査の際の層相記載を踏まえ、図3のように地質断面図を作成した。
調査地域の層相は主に2つの層に分けること

ができる。上位は細砂が主とする層である（松本, 1983）。下位は主に中砂が主である（松本, 1983）。

6. 結果

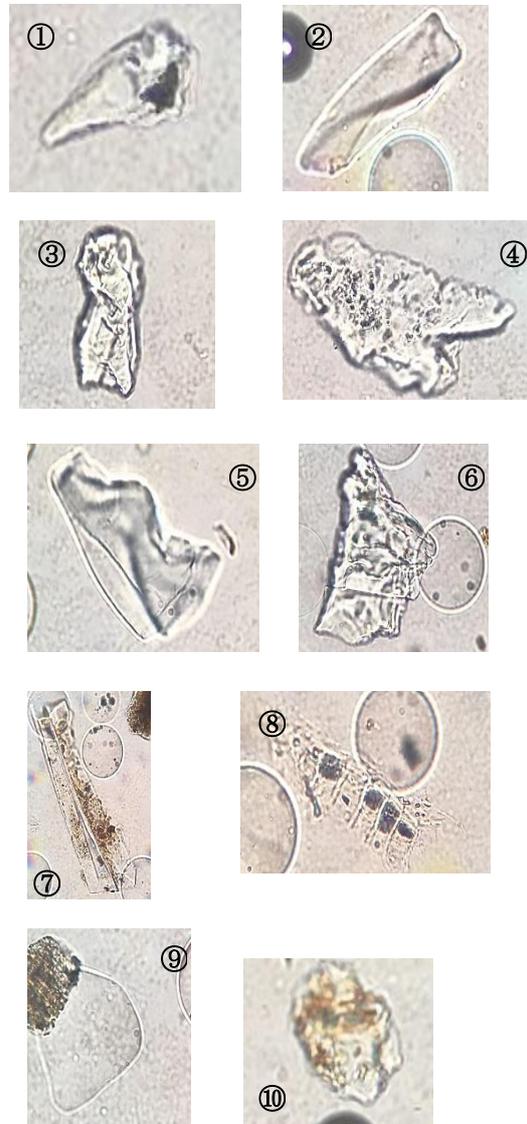


図4 観察されたプラント・オパール

観察されたプラント・オパール（図4）は以下の通りである。なお、同定の際には近藤（2010）を参考にした。①ヌマガヤ (*Molonia japonica*) , ②ヨシ (*Phragmites australis*) , ③チガヤ (*Imperata cylindrica*) , ④ヤマアワ (*Calamagrostis epigeios*) , ⑤ハマニンニク (*Leymus mollis*) , ⑥スゲ属 (*Carex*) , ⑦ササ属の地下茎 (*Sasa*) , ⑧シバヅク (*Zoysia*) ,

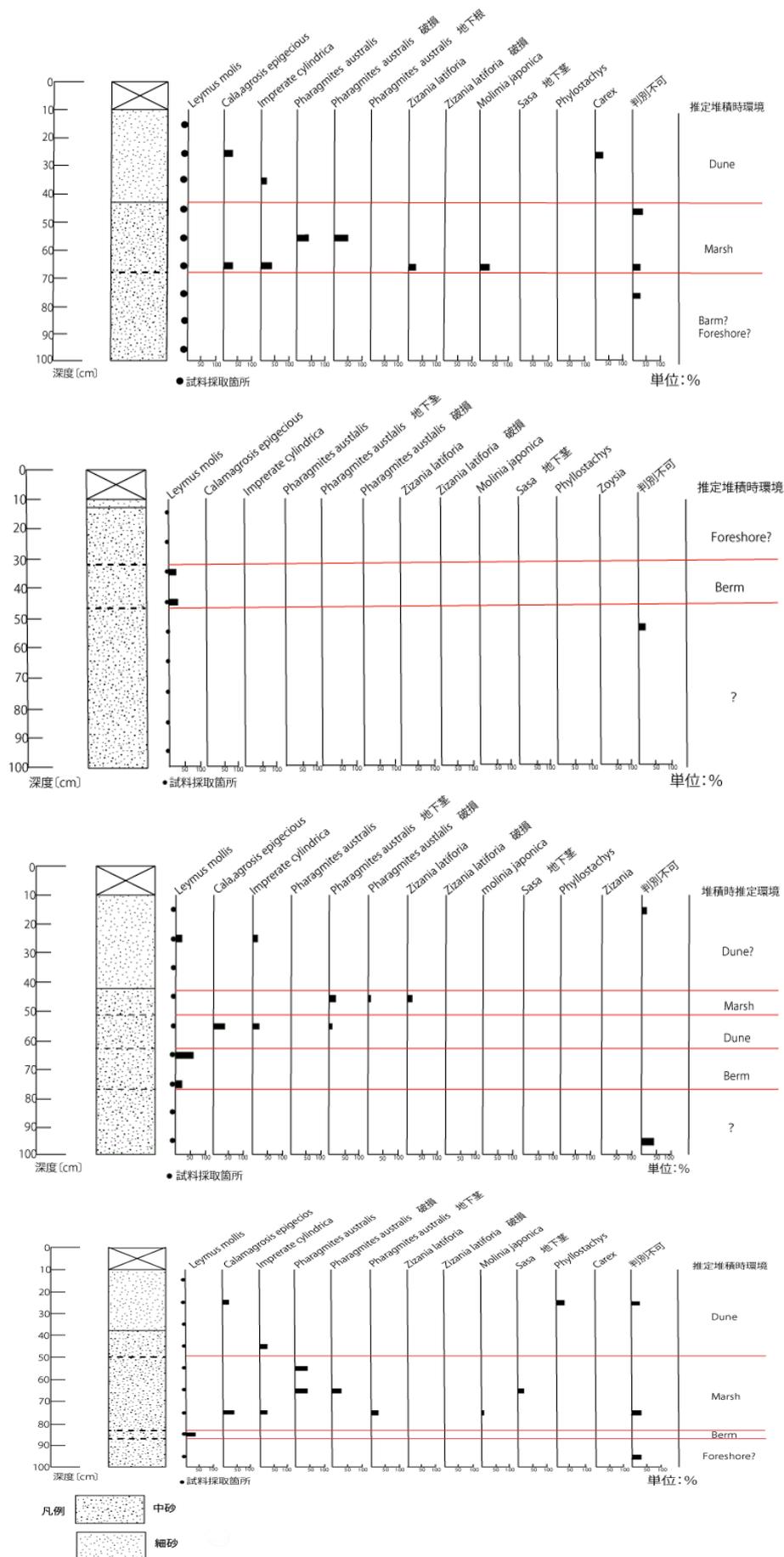


図4 Loc.1~4の柱状図と検出されたプラント・オパールとの関係

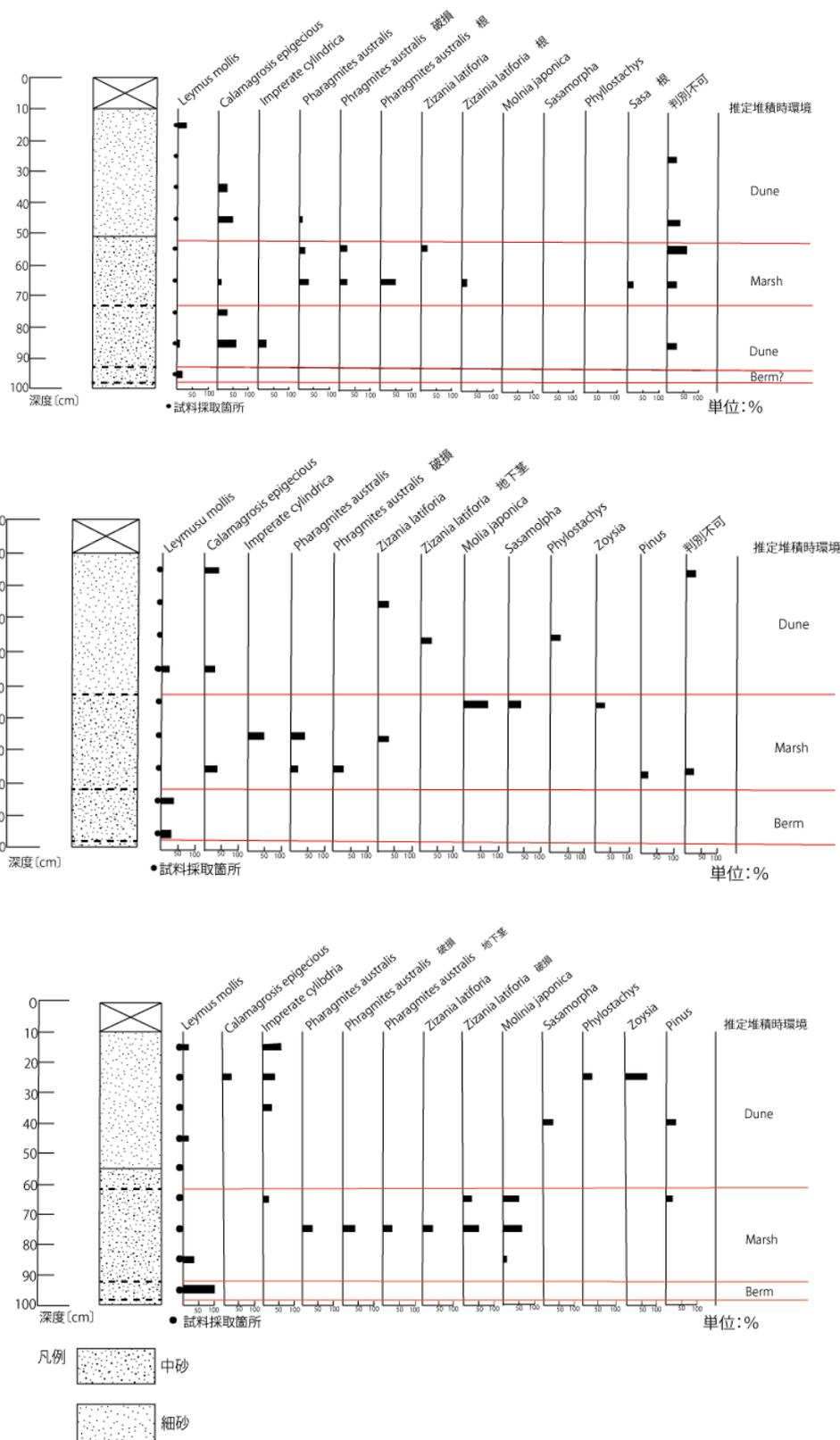


図5 Loc.5~7の柱状図と検出されたプラント・オパールとの関係

⑨マダケ属 (*Phyllostachys*), ⑩同定ができなかったプラント・オパールが今回見つかった。各層序におけるプラント・オパールの産出結果

を図4, 5に示す。全ての地点において地表から100cmまでピットを掘り, 10cm間隔でプラント・オパールの採取を行った。下位は主とし

て中砂，上位は主として細砂である。下位から順にみていく。最も内陸側の Loc.6, 7 の最下位砂層からは，砂丘に生息する *Leymus mollis* (ハマニンニク) が 40~100% の割合で産出する。内陸側から海側に向かって，また上位の層に向かうにつれ，*Pharagmites australis* (ヨシ)，*Zizania latifolia* (マコモ) などの湿地に生息する植生のプラント・オパールが産出するようになる。さらにその上位では *C.epigeious* (ヤマアワ)，*M.japonica* (ヌマガヤ) など砂丘で生息するプラント・オパールが産出するようになる。

7. 考察

(1) プラント・オパールが示す海岸地形

海岸の植生の分布は地形によって異なっている。そして，プラント・オパール分析を用いた海岸地形の復元は江口 (2006)，飯田 (2015MS) などで行われている。それによると，Berm にはハマニンニク，Dune にはケカモノハシ・チガヤ・ヤマアワ，湿地にはヨシが繁茂している。本調査ではこの中で，ハマニンニク・チガヤ・ヤマアワ・ヨシのプラント・オパールを確認することができた。また湿地の植生として，マコモ・ヌマガヤも確認することができた。これらの指標を用いて以下の考察を行う。

(2) プラント・オパールが示す堆積環境とその変遷

内陸に位置する Loc.6 と 7 の最下位の中砂層から *L.mollis* が 50~100% の割合で産出することから，前浜の環境であったと推定できる (図 5)。Berm を示す中砂層は海側の Loc.4 に向かって薄くなり，Loc.3 では前浜を示すプラント・オパールが産出しなくなる (図 4・5)。したがって，具体的な年代は不明だが，Loc.4 付近に海岸線があったと推測される。

Loc.5~7 の，Berm を示す中砂層の上位層では，*P.australis*，*Z.latifolia*，*M.japonica* といった湿地の環境を示すプラント・オパールが産出し (図 5)，Loc.4 では *C.epigeious*，*I.cylindrica*

といった砂丘上のプラント・オパールが産出する (図 4) ことから，Loc.4 付近で形成され，それよりも内陸側では湿地が形成されたと推定される。白石 (1993) によれば，天王砂丘の下位には埋没浜堤が指摘されているので，Loc.4 付近に浜堤が形成され，その後砂丘が形成されたと考えられる。Loc.5~7 の最上位の層で，*C.epigeious*，*I.cylindrica* といった砂丘上のプラント・オパールが再び産出している (図 5) ことから，現在に近い環境が広がっていたと推測される。

Loc.3 の中砂層上位では *P.australis*，*Z.latifolia*，*M.japonica*，*I.cylindrica* といった湿地に繁茂する植生のプラント・オパールが産出する (図 4) ことから，湿地の環境が広がっていたと推測される。Loc.3 付近で湿地が広がっていた理由として，Loc.2 付近で砂丘が形成されていたためと考えられる。同様なことは Loc.2 でもいえる (図 4)。すなわち，Loc.1 付近に砂丘が形成されたため，Loc.2 付近に閉塞環境が生まれ，湿地の環境が広がったと推測される。

以上のように，天王砂丘のプラント・オパールの産出状況から推測される古環境は，それまで海に面していた海岸に海水準の低下に伴って砂丘が形成され，砂丘形成に伴い背後に湿地が形成されるというプロセスを繰り返したと考えられる。これは浜堤列の形成過程と似ている。すなわち，海水準の低下に合わせて浜堤と堤間湿地が前進する過程が天王砂丘でも起こっていたと考えられる。第 I 砂丘は約 6,000 年前 (太田ほか，1990)，第 II 砂丘は約 3,000~2,000 年前 (太田ほか，1990)，第 III 砂丘は約 1,300~1,200 年前 (平安海進:小野，1974，豊島，1978) の海進後の海面低下に伴い順次形成されたとすると，第 I 砂丘背後の湿地環境は少なくとも約 6,000 年前より後，第 II 砂丘と第 III 砂丘の間の湿地は 3,000~1,300 年前に形成されたと推定される。白石 (1993) によれば，天王砂丘は浜堤列の集合体なので，浜堤の上に砂丘砂が堆積

しており、その表面に繁茂した植生のプラント・オパールを本研究では捉えていると考えられる。

白石・柴田（1986）によれば、天王砂丘の位置する秋田平野臨海部は完新世後半以降隆起しているため、本研究では、世界規模の海水準変動に加え、臨海部の隆起にともなう相対的海水準変動により天王砂丘は形成されたと考える。これは、プラント・オパールの産出状況から推定した古環境の変遷とも整合的である。

8. まとめ

秋田平野臨海部に位置する天王砂丘における古環境変遷を、プラント・オパールを利用して復元した。その結果、海岸部では海水準低下に伴い砂丘を形成され、その背後に湿地を形成しながら陸地が海側に前進していきながら形成されたと推測された。白石（1993）によれば、天王砂丘の下位には浜堤が埋没しているため、海水準低下に伴い浜堤が形成され、その背後に閉塞環境が生まれ、湿地が形成されたと考えられる。秋田平野臨海部は完新世後期以降隆起傾向にあるため（白石，1990），浜堤の形成は汎世界的な海水準の低下に加え、海岸部の隆起による海水準の相対的な低下が原因と推測される。

9. 今後の課題

今回の調査では、プラント・オパールが産出した個々の層の形成時期を特定することができなかった。また、掘削地点も数が限られている。したがって、今後はさらに掘削地点を増やすとともに、古環境と年代を合わせより具体的な天王砂丘の古環境変遷を復元していくことを今後の課題とする。

謝辞

本研究では、廣内先生をはじめ多くの方々にお世話になりました。特に、現地での掘削では荻野貴大さん、明間奈津紀さんにお手伝い頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

- 飯田杏奈（2015MS）：プラント・オパール分析から見る静岡県太田川低地の古環境変遷と地殻変動との関連性。信州大学教育学部自然地理学研究室卒業論文。
- 井関弘太郎（1972）：日本における三角州平野の変貌。第四紀研究，11，117-123。
- 江口誠一（1993）：植物珪酸体分析による古環境復元のための基礎的研究（Ⅱ）- 複数の沿岸地域におけるその動態の比較 -。日本文化財科学会第10回大会研究要旨集，20-21。
- 江口誠一（1994）：沿岸域における植物珪酸体の分布 - 千葉県小櫃川河口域を例として -。植生史研究，第2巻，19-27。
- 江口誠一（1995）：沿岸域に生育する主要植物群の植物珪酸体形態。植物史研究，第3巻，第1号，29-32。
- 江口誠一（1996）：植物珪酸体の試料処理法。関東平野，4，25-28。
- 江口誠一（2006）：植物珪酸体化石群の産出量による空間域の復元 - 縄文時代晩期の三浦半島古逗子湾奥海岸を例として -。地理学評論，79（6），309-321。
- 遠藤邦彦（1969）：日本における沖積世の砂丘の形成について。地理学評論，42，159-162。
- 太田陽子・松島義章・森脇 広（1982）：日本における完新世海面変化に関する研究の現状と問題 - Atlas of Holocene Sea level Records in Japan を資料として -。第四紀研究，21，133-143。
- 太田陽子・海津正倫・松島義章（1990）：日本における完新世相対的海面変化とそれに関する問題 - 1980～1988における研究の展望 -。第四期研究，29（1），31-48。
- 小野忠熙（1974）：考古地理学からみた響灘沿岸の砂質海岸の形成。第四紀研究，13，239-249。
- 大矢雅彦・市瀬由自（1958）：下北半島の海岸砂丘（第1報）。資源研彙報，46・47，5-12。
- 瀧上市（2010）：『天王町誌：天王自然と人の

- あゆみ：砂丘に生まれたまち』. 286p
- 草薙祥子 (1975)：秋田砂丘の砂丘地形と遺跡について. 秋田考古学, 36・37, 3-19.
- 近藤鍊三 (2010)：『プラント・オパール図譜 — 走査型電子顕微鏡による植物ケイ酸体学入門』. 北海道大学出版会. 387p.
- 小牧実繁 (1925)：庄内の砂丘. 地球, 5, 204-214.
- 白石建雄 (1986)：秋田県臨海平野の形成史. 地質学論集, 第 27 号, 213 - 235.
- 白石建雄 (1990)：秋田県八郎潟の完新世地史. 地質学論集, 第 36 号, 47-69.
- 白石建雄 (1993)：海岸砂丘の形成—秋田県の例—. 『土と基礎』, 41-3, 25-30.
- 白石建雄・柴田豊吉 (1986)：秋田平野南部の沖積層. 秋田大学教育学部紀要 (自然科学), 36, 203-215.
- 藤原宏志 (1976)：プラント・オパール分析法の基礎的研究 (2) - イネ (*Oryza*) 属植物における機動細胞珪酸体の形状 -. 考古学と自然科学, 11, 9-20.
- 村本周三・山岡景行 (2001)：考古学のためのプラント・オパールの簡易分析. 東洋大学紀要自然科学編, 45, 57-68.
- 角田清美 (1975)：日本海および東シナ海沿岸の主な海岸砂丘地帯の形成期と固定期について. 第四紀研究, 14 (4), 251-276.
- 辻誠一郎 (1981)：秋田県の低地における完新世後半の花粉群集. 東北地理, 33-2, 81-88.
- 豊島吉則 (1978)：山陰海岸における完新世海面変化. 地理学評論, 51, 147-157.
- 松島義章 (1979)：南関東における縄文海進に伴う貝類群集の変遷. 第四紀研究, 17 (4), 243-255.
- 松島義章 (1983)：少規模なおぼれ谷に残されていた縄文海進の記録. 月刊海洋科学, 15, 11-15.
- 松本秀明 (1983)：海浜における風成・海成堆積物の粒度組成. 東北地理, 35-1, 1-10.
- 三井秀夫 (1966)：沖積世における海岸砂州の発達過程. 第四紀研究, 5, 139-148.
- 日本海中地震災害 (1983) 秋田大学地質調査班 (1986)：秋田臨海平野の形成史. 地質学論集, 第 27 号, 213-235.
- 成瀬敏郎 (1989)：日本の海岸砂丘. 地理学評論, 62A-2, 129-144.
- 阪口 豊 (1958)：サロベツ原野とその周辺の沖積層の古地理. 第四紀研究, 1, 76-91.
- 町田 洋・新井房夫編 (2003)：『火山灰アトラス 日本列島とその周辺』. 東京大学出版会, 366p.