

6. プラントオパール分析に基づく太田川低地南部の堤間湿地における 完新世後期の海岸植生変化の復元

佐藤善輝・飯田杏奈・池田一貴・安江健一・廣内大助

1. はじめに

太田川低地は静岡県西部に位置する、東西約10km、南北約14kmの臨海沖積低地である(図1)。低地南部(磐田原台地の南端よりも南側)では縄文海進に伴って5,000~6,000年前頃に内湾あるいは潟湖が拡大し、その後に太田川や天竜川によって供給された土砂がそれを埋積して低地が形成された(渡辺, 1995¹⁾)。

しかし、地震性地殻変動がどのように累積し、低地周辺の地形発達にどのような影響を与えてきたのかについては、依然として未解明な点が多く残されている。低地南部では1,700~2,000 cal BP頃に海水準が相対的に上昇したことが遺跡分布の経時変化などから指摘されている(渡辺, 1995¹⁾)。この海水準上昇について、藤原ほか(2015)²⁾は太田川沿いの工事露頭における堆積物の特徴や貝化石、珪藻化石などから淡水環境から汽水~海水環境への変化が生じたことを明らかにした。

一方で、藤原ほか(2015)²⁾の調査地よりも南側に分布する浜堤列の地形発達過程については、地殻変動との関連が不明である。後述するように、廣内ほか(2014)³⁾は浜堤1・2間の堤間湿地を対象として地形・地質調査を実施し、水域の環境変遷を明らかにした。しかし、年代測定値が得られていなかったこと、砂質堆積物の分析が不十分であったことなどから、環境復元に問題が残されていた。

本研究では、太田川低地南部の浜堤1・2間の堤間湿地を対象とし、ボーリング調査によって堆積物の層序・層相を確認するとともに、¹⁴C年代測定やプラントオパール分析を実施し、これらに基づいて完新世後期における当該地域の環境を復元した。これらは過去の環境変遷に与えた地殻変動の影響を評価するため有用な情報になると期待される。

2. 対象地域概観

太田川低地南部には浜堤列が発達し、海岸線に平行方向(東西方向)に計3列の浜堤列(北側から浜堤1~3)が形成されている(図1)。浜堤1は現在の海岸線から約2km陸側に位置し、南北幅およそ150~300m、標高3m前後である。浜堤2は現在の海岸線から約1km陸側に位置し、南北幅およそ150m、標高約2.5m前後である。浜堤3は現成の砂丘で、南北幅約650mである。防砂林などの影響で浜堤1および2に比べて標高が大きい(標高約5~6m、海岸部で10m以上)。各浜堤間には堤間湿地が分布し、浜堤1・2間および浜堤2・3間ともに

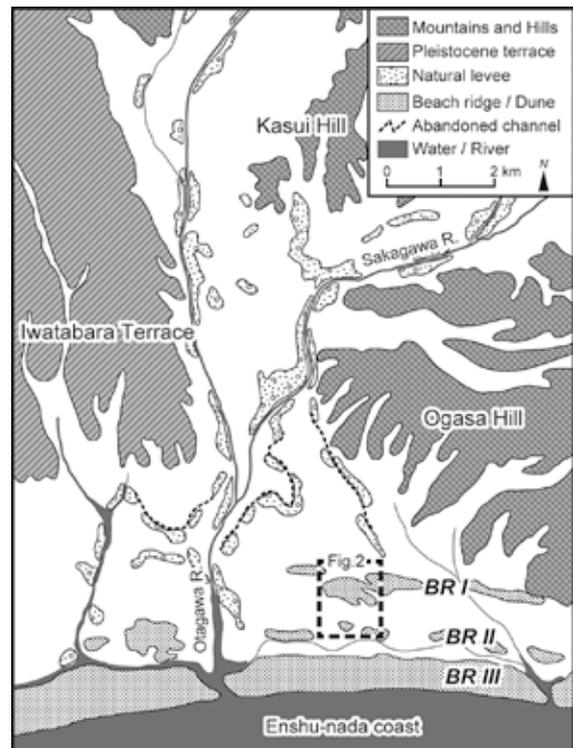


図1 太田川低地の地形と調査対象地域の位置
渡辺(1995)¹⁾の地形分類図に加筆して作成。

標高1.0～1.5m程度である。

太田川低地南西部（太田川右岸側）では藤原ほか（2008）⁴⁾が浅層地質とその堆積環境について論じている。その成果によれば、浅層地質は下位から順に細粒砂層（下部砂層）、泥炭層・粘土層・シルト層の互層（中部粘土層）、極細粒砂層・シルト層の互層（上部シルト層）から成る。これらのうち、「下部砂層」は三角州前置層または浜堤・砂堆構成層と推定され、「下部砂層」の上面の凸凹は埋没浜堤・砂堆と解釈されている。

本研究では浜堤1・2間の堤間湿地を対象とした（図1・図2）。廣内ほか（2014）³⁾はこの堤間湿地を南北方向に横切る約140mの測線（a-a'断面、図2）上の計5地点で掘削調査を行い、低地を構成する堆積物を下位から順に下部砂泥層、下部砂層、有機質泥層、泥層、最上部泥層に区分している。このうち、下部砂層は低地南部にのみ分布し、埋没浜堤あるいは浜堤2構成層と考えられている。また、下部砂泥層と有機質泥層は低地北部にそれぞれ分布する。20131226-1コアでの珪藻分析結果から、下部砂泥層は海浜堆積物、有機質泥層は淡水湿地とそれを覆う干潟堆積物であると考えられている（廣内ほか2014）。

有機質泥層中には淘汰の良い灰白色極細粒砂～細粒砂からなる細粒砂層が挟在し、陸側に向かって層厚と粒径を減少させることから津波や高潮などによって海側から供給されたイベント堆積物の可能性が指摘されている（廣内ほか、2014³⁾）。

3. 方法

3.1 ボーリング調査

本研究では、廣内ほか（2014）³⁾の設定した堤間湿地を横切る（南北）方向約140mの測線（a-a'断面、図2）上で、新たに計2地点（20141120-1コア、20141120-2コア）でボーリング掘削調査を行った。掘削はハンドコアラーを用いて行い、各コアの掘削長は20141120-1コアが175cm、20141120-2コアが330cmである。掘削地点の標高はオートレベルを用いた測量により求めた。

3.2 年代測定分析

コアから採取した有機質堆積物や木片、植物片などの有機物試料について¹⁴C年代測定を行った。分析試料は、廣内ほか（2014）³⁾で掘削された20131225-3コアおよび20131226-1コアから計3試料、今年度新規に掘削したコアから計3試料採取した。試料No.1～3については日本原子力研究開発機構・東濃地科学センターのペレトロン年代測定装置で測定を行った。また、試料番号4～6については(株)地球科学研究所に測定を依頼した。年代測定値の暦年較正はCALIB 7.1プログラム（Stuiver et al., 2015⁴⁾）を用いて行った。較正のためのデータセットには、陸域起源試料であることから、全ての試料についてIntCal13.14cデータセット（Reimer et al., 2013⁵⁾）を使用した。

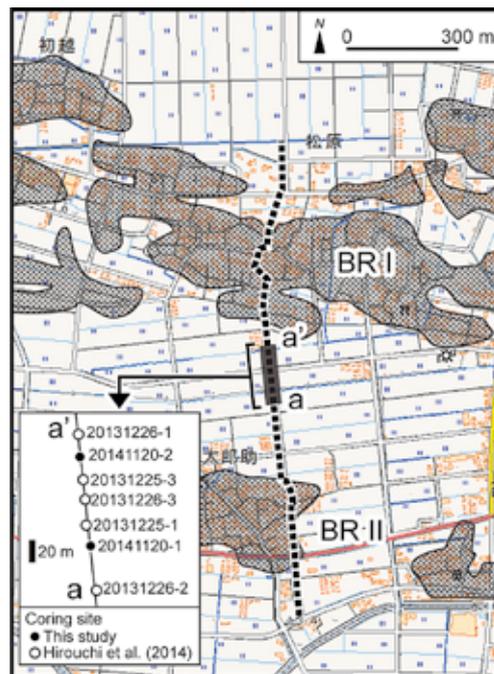


図2 ボーリング掘削地点の位置図
基図は国土地理院25,000分の1地形図を使用した。破線は測量測線を示す。

3.3 プラントオパール分析

採取したコア試料から2～5 cm間隔で試料を採取し、プラントオパール分析を行った。試料の処理は村本・山岡 (2001)⁶⁾ に準拠して行った。約1 gの乾燥試料に10%程度に稀釈した過酸化水素水 (30ml) と計数用のビーズ (径40 μm、0.1mg) を加えて攪拌し、有機物を除去した。反応終了後、超音波洗浄器で混濁液を十分に懸濁させ、沈降法で目的となる粒径のフラクションを回収した。回収した試料を乾燥させ、120 μmのメッシュで選別した細粒粒子を光硬化剤を用いて封入し永久プレパラートを作成した。検鏡は400倍の生物顕微鏡下で行い、ガラスビーズの合計が400個以上になるまで計数した。同定は近藤 (2010)⁷⁾ を参照した。プラントオパールの母植物生産域や堆積場については、石塚 (1977)⁸⁾ や江口 (2006)⁹⁾、角野 (2014)¹⁰⁾などを参照した。

4. 堆積物の層序・層相と年代

掘削結果に基づき作成したコアの柱状図を図3に示す。本研究では、廣内ほか (2014)³⁾の有機質泥層中の標高-0.2～-0.3mで見られる泥炭とその上位を区分し、新たに「泥炭層」と「有機質泥層」とした。すなわち、堤間湿地の浅層地質は下位から順に下部砂泥層、下部砂層、泥炭層、有機質泥層、泥層、最上部泥層からなる (図3)。

下部砂泥層は灰～暗灰色の細粒砂混じりシルトを主体とする地層で、堤間湿地北部 (20131225-3コアより北側) の標高-0.8m以深に認められる。地層中には層厚数mm～5 cm程度の細粒砂が複数層挟まれる。下部砂泥層は上方に向けて黒色を帯び、未分解泥炭～黒泥などからなる泥炭層へ遷移する。泥炭層の層厚は20131225-3コアでは55cm、20141120-2コアでは65cm、20131226-1コアでは60cmである。泥炭層基底からは20131225-3コアで2,305-2,370 cal BP (標高-0.61m, 木片)、20141120-2コアで3,965-4,100 cal BP (標高-0.82m, 有機質堆積物)の年代測定値が得られた (図3)。泥炭層中の標高-0.6～-0.8mには陸側に薄層化する細粒砂層が挟在する。細粒砂層を覆う泥炭層からは、直上から2,925-3,210 cal BP (20131225-3コア、標高-0.46m、有機質堆積物)、約10cm上位から2,345-2,490 cal BP (20141120-2コア、標高-0.59m、植物片)の年代測定値が得られた (図3)。泥炭層は標高-0.2～-0.3m付近で明瞭な境界を介して有機質泥層によって覆われる。泥炭層最上部からは1,350-1,445 cal BP (20141120-2コア、標高-0.26m、有機質堆積物)、1,690-1,820 cal BP (20131226-1コア、標高-0.37 m、有機質堆積物)の年代測定値が得られた (図3)。有機質泥層は層厚25～55cmで、上位の灰色泥層に遷移する。

他方、堤間湿地南部 (20131226-3コアよりも南側) では、下部砂層が標高0.0m以深に分布し、これを灰色泥層が覆う。下部砂層は細粒砂混じりシルト～細粒砂からなる地層で、層厚と基底深度は明らかでない。この地層中にはまれに円礫が含まれ、最上部の約10cmは黒色で有機質な層相を呈する。

灰色泥層と最上部泥層はすべてのコア地点で認められる。最上部泥層は灰色泥層に比べてよく締まっていて硬く、植物根が多く見られることで区別されるが、その境界は不明瞭である。

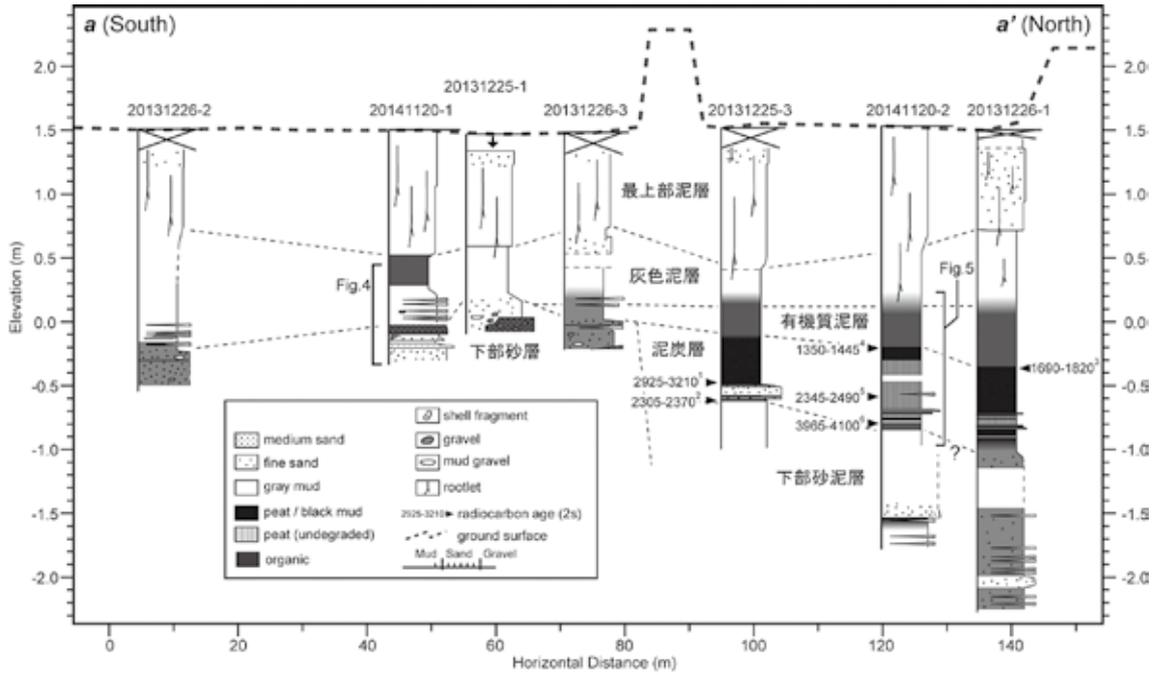


図3 浜堤1・2間の堤間湿地における地質柱状図
ボーリング調査地点および測線位置は図2を参照。

5. プラントオパール分析から推定される堆積環境

5.1 20141120-1コア

このコアでは下部砂層と灰色泥層について分析を行った。分析結果を図4に示す。

下部砂層は下部（標高-0.15m以深）でプラントオパールが産出しない層準が多いが、標高-0.21~-0.25mからは産出が認められ、すべてのプラントオパールがハマニンニク *Leymus mollis* だった。下部砂層上部ではハマニンニクが産出しなくなり、ヤマアワ *Calamagrostis epigeios* が10~15%、チガヤ *Imprcrata cylindrica* が20%程度と多く産出する。また、ヨシ *Phragmites australis* が10%程度産出する。標高-0.14~-0.16mではシバ *Zoysia* のみが産出した。江口（2006）⁹⁾によればハマニンニクはバームから砂丘を母植物生育域とし、内陸側の砂丘~湿地でも産出する。また、ヤマアワとチガヤは砂丘を母植物生産域とし、内陸側の湿地に運搬される。一方で、ヨシは湿地を母植物生産域とし、海側に向けて生産量が減少する。これらの種が混合して産出することは、下部砂層が砂丘~湿地の堆積物であることを示す。砂質堆積物から成ることを考慮すると、この地層は砂丘堆積物の可能性が高いと考えられる。

他方、灰色泥層ではヨシが10~40%程度、ヌマガヤ *Molinia japonica* が20~100%程度と多く産出し、マコモ *Zizania latifolia* も20%前後認められる。同層上部ではヨシが多く産出するものの、ヤマアワ、チガヤ、ハマニンニクも10~20%程度産出する。上述したようにヨシは湿地を母植物生産域とする（江口，2006⁹⁾）。ヌマガヤは湿地に特徴的な植物で、地下水位が地表から10cm前後の場合によく繁茂する（石塚，1977⁸⁾）。また、マコモは水辺に生息する抽水植物である（角野，2014¹⁰⁾）。これらのプラントオパールが多産することやシルト・粘土などの細粒堆積物であることから、本地層は湿地・湿原の堆積物と解釈される。上部は、ヨシが多いものの下部砂層中に見られた種（ハマニンニク、ヤマアワ、チガヤ）が多くなること、下部よりもやや有機質な層相を呈することから、湿地の水深低下や砂丘が周辺に発達した可能性が示唆される。

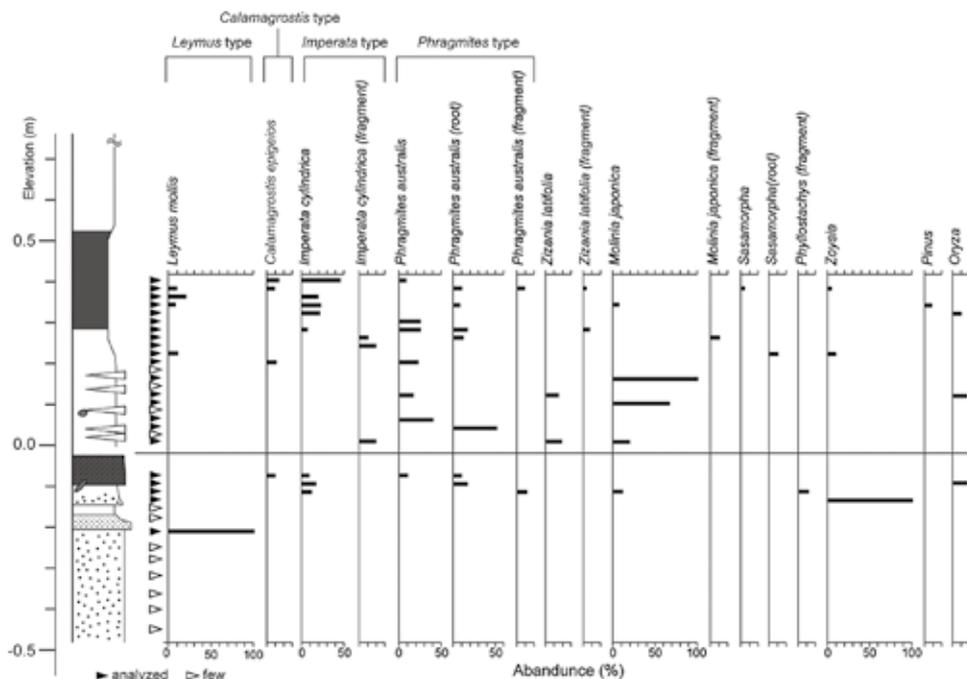


図4 20141120-1コアのプラントオパール分析結果

5.2 20141120-2コア

このコアでは下部砂泥層、泥炭層、有機質泥層について分析を行った。分析結果を図5に示す。

下部砂泥層（標高-0.84m以深）ではプラントオパールが産出しない層準が多いが、標高-0.86~-0.88mからはヤマアワ *Calamagrostis epigeios* のみが産出する。ヤマアワは砂丘を母植物生産域とし、バームや湿地などの周辺への拡散が比較的小さい（江口，2006⁹⁾）。分析層準は泥質堆積物であるものの、下位では厚い砂質堆積物が認められること（図3）を考慮すると、この地層は砂丘や砂丘に近い湿地堆積物であると考えられる。廣内ほか（2014）³⁾ が汽水～海水生珪藻の多産からこの地層が干潟あるいは海浜堆積物であると解釈していることを考慮すると、浜堤・砂丘背後の小規模なラグーンで堆積した可能性が高い。

泥炭層ではヨシ *Phragmites australis* が20～50%、ヌマガヤ *Molinia japonica* が15～30%程度と多く産出する。本地層は、これらの湿地を生息域とする種の多産や、未分解の泥炭や黒泥などからなることから、湿地・湿原の堆積物であると考えられる。これは廣内ほか（2014）³⁾ が示した珪藻分析結果とも整合的である。

有機質泥層は上位に行くにつれプラントオパールの産出数が減少する傾向を示す。下部砂泥層や泥炭層で多く産出する種（ヤマアワ、ヨシ）はほとんど産出せず、マダケ *Phyllostachys* やカンチク *Chimonobambusa marmorea*、シバ *Zoysia* などが多く産出する。廣内ほか（2014）³⁾ は珪藻分析からこの地層が干潟堆積物であることを報告しており、本研究で砂丘～湿地を生息域とするプラントオパールが見られなくなることや生産量が減ることと整合的である。多産するマダケやカンチクなどは周辺の陸域から運搬された可能性が高い。

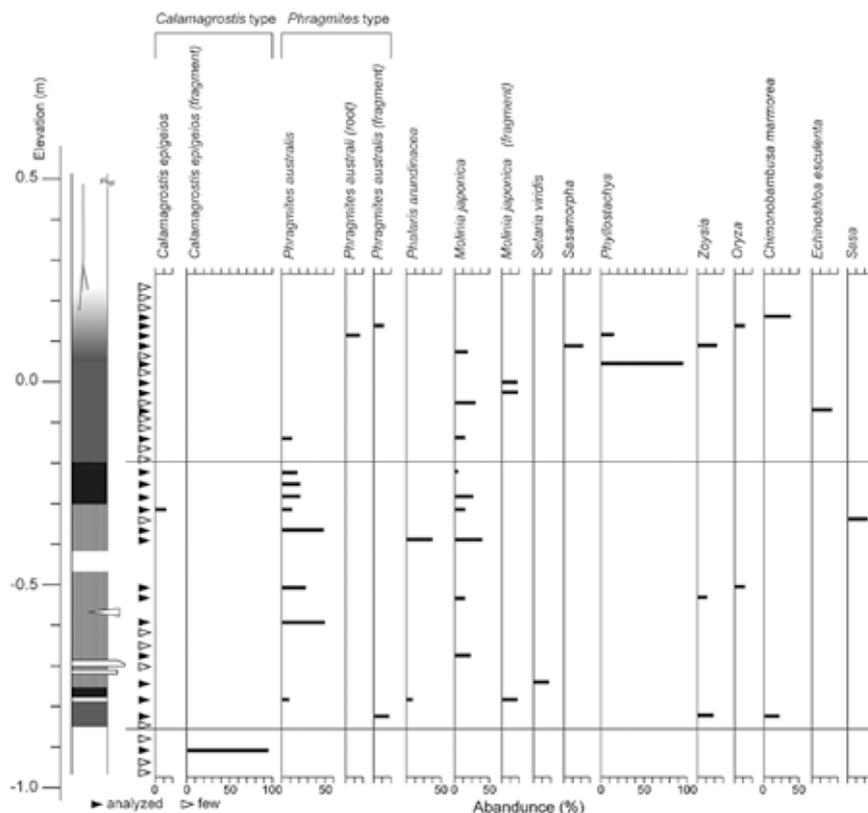


図5 20141120-2コアのプラントオパール分析結果

6. 堤間湿地の環境変遷と地殻変動の影響

堤間湿地南部には下部砂層の高まりが認められる。前章で述べたように、20141120-1コアにおける下部砂層はこの高まりを構成する堆積物の一部であり、プラントオパール分析から砂丘堆積物の可能性が高い。従って、堤間湿地南部には埋没した砂丘が存在すると推定される。また、堤間湿地北部の下部砂泥層にも砂丘からのプラントオパールの供給があったことが示唆された。下部砂泥層を覆う泥炭層の基底から得られた年代測定値は、埋没砂丘の形成時期が4,000 cal BPよりも前であることを示す。堤間湿地では4,000 cal BP以降、淡水湿地環境が成立して泥炭や黒泥が堆積するようになった。このことは堤間湿地の南側に分布する埋没砂丘の発達、あるいはさらに南側に新しい浜堤や砂丘が形成されたためと推定される。1,400~1,800 cal BP頃、淡水湿地から潮間帯干潟への環境変化が生じた。干潟が形成された範囲は有機質泥層の分布から埋没砂丘より北側の相対的に低まりに限定されたと推定される。この干潟環境がいつ頃まで継続したかは不明であるが、湿地堆積物と推定される灰色泥層に覆われることから、低地の発達に伴って干潟・砂丘ともに埋没し、広く淡水湿地が発達したと推定される。

堤間湿地北部で認められた潮間帯干潟の形成は、堤間湿地が浜堤や砂丘によって閉塞された後に、再び潮汐の影響が及ぶようになったことを示しており、浜堤・砂丘の欠損や海水準の相対的上昇によると考えられる。この環境変化は、渡辺 (1995)¹⁾ や藤原ほか (2015)²⁾ の指摘した1,700~2,000 cal BP頃の海水準の上昇と時期が重複しており、これに対応する現象を捉えている可能性が高い。また、本研究が対象とした堤間湿地では、砂丘堆積物が現在の標高0 mよりも下位に分布することや、高潮位~最高高潮位の干潟堆積物から特徴的に産出する *Pseudopodosira kosugii* が標高0 m以深から多産すること (廣内ほか, 2014³⁾) などから、過去数1,000年オーダーでは沈降傾向が卓越していることが示唆される。

謝辞

調査地の地主・耕作者の方々には調査にご理解・ご快諾頂いた。また、湿地の植生については富田啓介氏（法政大学）にご教授頂いた。以上の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺二三彦：静岡県袋井市南部，太田川低地の地形発達史，季刊地理学47, 103-118, 1995.
- 2) 藤原 治, 北村晃寿, 佐藤善輝, 青島 晃, 小野映介, 小林小夏, 小倉一輝, 谷川晃一郎：静岡県西部の太田川低地で見られる弥生時代中・後期の相対的海水準上昇．第四紀研究, 54-1, 11-20, 2015.
- 3) 廣内大助, 佐藤善輝, 松多信尚, 堀 和明, 清水龍来, 遠藤 悠, 西川由香, 安江健一, 顔 一勤：静岡県太田川低地の堤間湿地における完新世後期の堆積環境変化, 愛知工業大学 地域防災研究センター 年次報告書 10, 43-46, 2014.
- 4) Stuiver, M., Reimer, P. J. and Reimer, R. W. (2015) CALIB 7.1 (WWW program and documentation) . Available at: <http://calib.qub.ac.uk/calib.cited> in May 6th, 2015.
- 5) Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliðsson, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T., Hoffmann, D. L., Hogg, A., Hughen, K. A., Kaiser, K., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. and Plicht, J. (2013) IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP. *Radiocarbon*: 55, 1869-1887.
- 6) 村本周三, 山岡景行：考古学のためのプラントオパール簡易分析, 東洋大学紀要 自然科学篇 45, 57-68, 2001.
- 7) 近藤鍊三：プラントオパール図譜 走査型電子顕微鏡写真による植物ケイ酸体学入門, 387p, 札幌, 北海道大学出版会, 2010.
- 8) 石塚和雄：群落の分布と環境, p.376, 朝倉書店, 1977.
- 9) 江口誠一：植物珪酸体化石群の産出量による空間域の復原－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, 2006.
- 10) 角野康郎：日本の水草（ネイチャーガイド）, p.28, 文一総合出版, 2014.

所属：

佐藤善輝，産業技術総合研究所・地質情報研究部門

飯田杏奈，横須賀市立久里浜小学校（前・信州大学教育学部）

池田一貴，信州大学大学院教育学研究科