

松江平野北部の平野発達史と古環境変遷史

瀬戸浩二・渡辺正巳・山田和芳・高安克己

はじめに

松江平野は、一般に大橋川流域の低地（東は朝酌川流域、西は比津川流域、南は国道9号線南方の丘陵まで、北は北山山地の縁辺まで）の数km四方を示す。この松江平野の形成発達史は、地形学的視点からまとめられており、この地域にあった過去の水域を「古松江湖」と呼んでいる（林、1991）。一方で、松江平野中部では、ジオスライサーを用いたコアを解析して、古環境の変遷史を検討している（渡辺・瀬戸、2012；2013；2014）。それによると、「弥生小海退」などによって、浸食面があることを指摘している。一方で、近世の松江平野を記した松江城下絵図などでは、松江平野北部に水域が描かれており、北部には近世まで水域が存在してことが知られている。この水域が存在していたと思われる松江市学園1丁目（13Mt01G）と菅田町（13Mt02G）の2カ所でジオスライサーを用いて柱状に地層を採取した。本研究では、このコアについて詳細な記載と共に地球化学的手法を用いて古環境変遷史を明らかにし、松江平野北部の平野発達史を検討することを目的としている。それによって近世に見られる水域の古環境とその形成過程についての議論を行った。

1. ジオスライサーコアの概要と試料の分取

松江市学園1丁目（13Mt01G）と菅田町（13Mt02G）の2カ所でジオスライサーを用いて柱状に地層を採取した（図1）。13Mt01G コアは、東経 133°4.08'、北緯 35°28.72' において2013年2月6日に採取された。13Mt02G コアは、東経 133°3.80'、北緯 35°28.82' において2013年8月21日に採取された。

ジオスライサーで掘削した柱状試料は初生的な記載を行った後、土色計（コニカミノルタ製：SPAD-503）で色調（明度、彩度）を1cm間隔で計測した（図2）。その後、25cmの軟X線写真撮影用ケース、2.3cmのキューブを差し込み、前者は軟X線写真撮影用試料に、後者は帯磁率測定用試料とした。残りの試料は、深度1cm間隔で採取した。1cm間隔の試料は、凍結乾燥機で乾燥させ、CNS元素分析及び蛍光X線主要元素分析などを行った。

2. 分析方法

含水率・帯磁率：含水率は、1cm間隔で分取されたCNS元素分析用試料を用い、凍結乾燥器で10日以上乾燥させ、その前後の質量差から求めた。帯磁率は2.3cmのキューブで採取された帯磁率測定用試料を用い、帯磁率測定システム（Bartington製、MS2）で測定した。測定は、山田ほか（1998）にしたがって行っている。

CNS元素分析：1cm間隔に分取されたCNS元素分析用試料は、凍結乾燥器で10日以上乾燥させ、

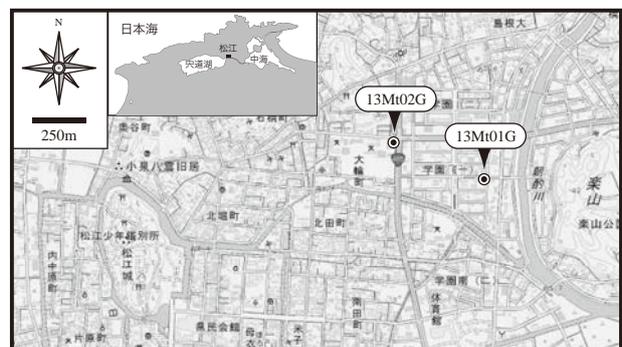


図1 コアの採取地点（●）

ジオスライサー用コア処理チャート

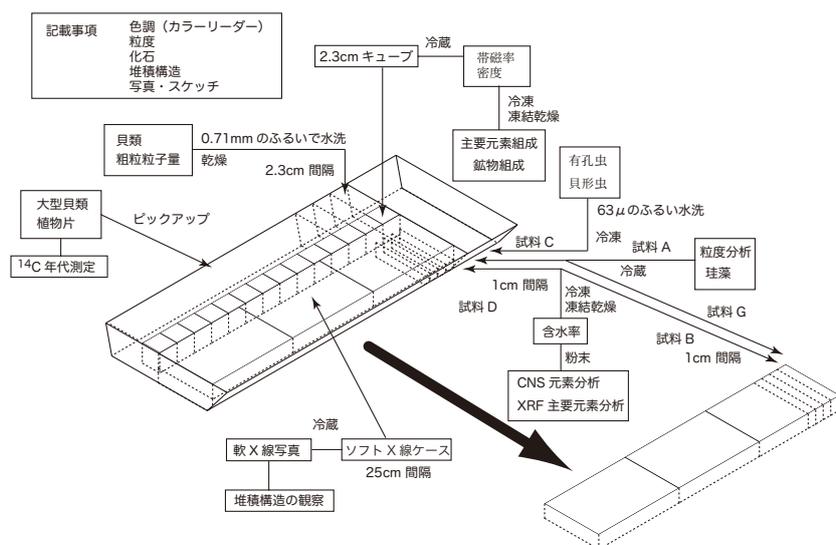


図2 ジオスライサーコアの試料分割チャート

全有機炭素 (Total Organic Carbon、以下 TOC と呼ぶ) 濃度、全窒素 (Total Nitrogen、以下 TN と呼ぶ) 濃度及び全イオウ (Total Sulfur、以下 TS と呼ぶ) 濃度を測定した。また、TOC 濃度、TN 濃度及び TS 濃度から C/N 比、C/S 比を算出した。標準試料には BBOT (2,5-Bis- (5-tert-butyl-benzoxazol-2-yl)-thiophen) を用い、最初の 5 試料で検量線を作成し、それに基づいて TOC 濃度、TN 濃度及び TS 濃度を定量した。また、10 試料おきに BBOT を測定し、補正を行っている。

蛍光 X 線主要元素分析：CNS 元素分析と同じ粉末試料を用いて試料ペレットを作成した。この試料ペレットを島根大学汽水域研究センター内のエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (堀場製作所製、MESA-500W) により、主要元素の含有率を測定した。測定は、真空状態で行い、ターゲットは Rh 管を用いている。管電圧は、15 (軽元素)、50 (重元素) kV で、分析時間はそれぞれ 250 秒である。分析データは、堀場製作所製分析プログラム MESA-500W を用い、検量線法によって、10 元素 (Al₂O₃、MgO、TiO₂、MnO、Fe₂O₃、Na₂O、SiO₂、K₂O、CaO、P₂O₅ 含有率) の酸化物としての含有率を定量した。

3. コアの記載

13Mt01G コアは、主として塊状の泥質堆積物で構成されており、コア長は 172cm である (図 3)。コアトップから深度 5cm は、灰オリーブ色 (5Y 4/2) を呈した淘汰の悪い細粒～中粒砂及び礫を含む泥質細粒砂である。深度 5～70cm は塊状の泥質堆積物であるが、下部の泥質堆積物は暗オリーブ灰色 (5GY 3/1) の粗粒砂を含んでいる。また、深度 40～50cm では褐色 (2.5Y 3/1) を示し、植物根の痕跡が見られる (図版 1-a)。深度 70～150cm では、主に暗オリーブ灰色 (5GY 3/1) のやや粗いシルトで構成され、深度 119～123cm では植物片を含むシルト質極細粒砂を挟んでいる。深度 70cm 付近の上位との境界は、やや乱されており、それより下位では生物擾乱が見られる (図版 1-b)。また、深度 85cm 前後、140cm 前後では巣穴化石が観察された。最下部の層準 (深度 150cm 以深) は、暗オリーブ灰色 (5GY 3/1、2.5GY 3/1) の塊状と弱いラミナを伴う泥質堆積物で構成されており、ラミナを伴う泥質堆積物では灰色のラミナが見られる (図版 1-c)。

13Mt02G コアは、主として塊状の泥質堆積物からなるが、いくつかの層準で弱いラミナを伴う泥質堆積物が見られる (図 4)。コア長は、165cm である。表層から深度 25cm は、暗オリーブ灰色 (5GY 3/1) の極細粒砂を含む泥質堆積物や砂質泥で構成されているが、黒緑色 (5G 2/1) を示す暗い層準も

瑪瑙乳鉢を用いて粉末にした。粉末にした堆積物試料は、約 10mg を銀製固体用コンテナにとり、1N 塩酸を適量加えて炭酸塩炭素を除去した後、110°C に熱したホットプレート上で 4 時間静置し、試料を蒸発固化させ、封入した。それをさらに錫製固体用コンテナで封入し、島根大学汽水域研究センター内の CNS 元素分析計 (Thermo ELECTRON CORPORATION 製、Flash EA 1112) により堆積物試料の

13Mt01G

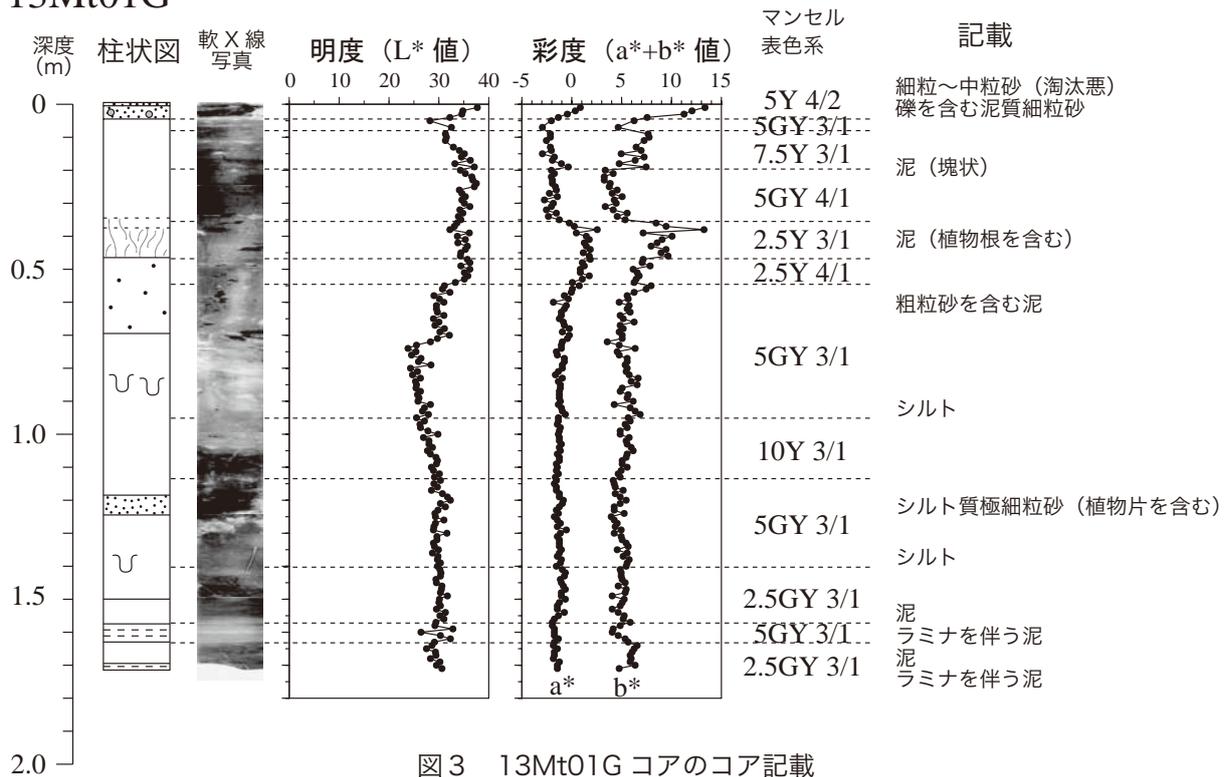


図3 13Mt01G コアのコア記載

13Mt02G

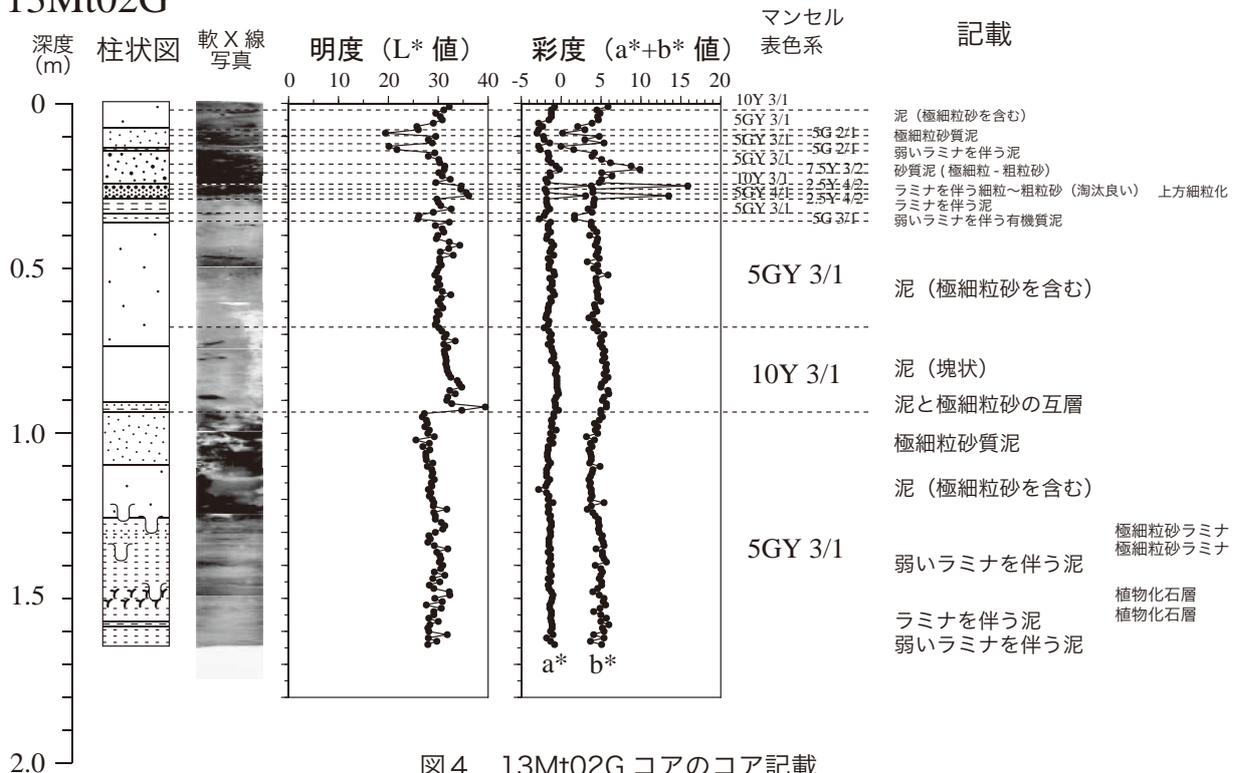


図4 13Mt02G コアのコア記載

見られる。深度25～29cmは、暗オリーブ灰色(5GY 4/1)のルーズで淘汰の良い細粒～粗粒砂からなり、ラミナを伴い上方細粒化が認められる(図版1-d)。その砂層の上下境界付近は酸化され、暗灰黄色(2.5Y 4/2)を示す。また、この砂層は下位の層を削り込んでいるのが観察された。深度30～90cmは、主に暗オリーブ灰色(5GY 3/1)とオリーブ黒色(10Y 3/1)を呈する塊状で極細粒砂を含む泥質堆積物

である。上部 3cm は暗オリーブ灰色 (5GY 3/1) のラミナを伴う泥で、その下位 2 cm は暗緑灰色 (5G 3/1) を呈した暗い色調の泥が見られる (図版1-e)。暗い色調の泥は、数時間で周囲の泥質堆積物と同じ色に変化する。深度 90 ~ 125cm は、暗オリーブ灰色 (5GY 3/1) の塊状の極細粒砂質泥及び極細粒砂を含む泥質堆積物からなる。上位の層準との関係は不明瞭であるが、色調は明瞭に変わっている (図版1-f)。深度 120cm 付近では、底生有孔虫 *Haplophragmoides canariensis* の産出が確認された (図版1-i)。深度 125cm 以深では暗オリーブ灰色 (5GY 3/1) のラミナを伴う泥質堆積物からなる。深度 130cm 前後では、巣穴化石が観察された (図版1-h)。また、深度 150cm 付近の層準では植物片を多く含むラミナが見られた (図版1-g)。

4. 分析結果

13Mt01G コアおよび 13Mt02G コアでは、分取された試料について各種の分析が行われているが、ここでは色調計測、含水率測定、帯磁率測定、CNS 元素分析、蛍光 X 線主要元素分析結果について報告する。

(1) 色調計測結果

色調は、明度 (L* 値) と彩度 (a* 値、b* 値) の三軸の数値として表される。明度の L* 値は、0 が黒を示し、100 が白を示す。したがって、L* 値が低いと、暗い色合いを示している。一方、彩度の a* 値、b* 値は、マンセル表色系の色相環を座標として表したものであり、a* 値は赤色 (+) と緑色 (-) の軸を示し、b* 値は黄色 (+) と青色 (-) の軸を示す。この L*a*b* 表色系は、コアなどの堆積物の色調の特徴を示す計測値としてよく使われている (小森ほか、2000 など)。

13Mt01G コアにおいて、深度 118cm 以深では L* 値は 30 前後を示している (図 3)。深度 118cm から 75cm までは、上位に向かって 24 程度まで減少する。深度 70cm 付近で再び 30 に増加する。また、深度 55cm 付近でさらに 35 まで増加する。それより上位では多少変動はあるものの 35 前後で推移している。a* 値、b* 値は、それぞれ -1.5、5 前後を示している。深度 55 ~ 35cm 及び 5cm より上位の層準は、共にやや高い値を示している。

13Mt02G コアの L* 値は、深度 93cm 付近で下位の層の 28 前後から上位の層の 30 前後まで増加している (図 4)。a* 値、b* 値は、全層準でそれぞれ -1.5、5 前後を示している。深度 9cm と深度 13cm は、L* 値が 20 前後と低く、b* 値も 0 前後と低くなっている。深度 20cm 付近では、b* 値が逆に高くなっている。深度 25 ~ 30cm のルーズで淘汰の良い細粒 ~ 粗粒砂層では、L* 値が 35 前後と高い値を示している。その上下では、酸化の影響を受けて、a* 値、b* 値が共に高くなっている。深度 34 ~ 35cm は、L* 値が 25 前後と暗い値を示し、a* 値、b* 値も共に低い値を示している。

(2) 含水率、帯磁率の測定結果

堆積物の物性は、比較的容易に求められる含水率、帯磁率などである程度理解することが可能である。

13Mt01G コアのコアトップから深度 5cm は、含水率が 30% 以下と低く、帯磁率は 50×10^{-5} SI 以上と高い値を示している (図 5)。深度 5 ~ 70cm は、含水率が 30% 前後である。帯磁率は緩やかに増減しながら下位に向かって 20 から 9×10^{-5} SI まで減少する傾向にある。深度 70 ~ 85cm では、帯磁率が $5 \sim 7 \times 10^{-5}$ SI と低い値を示し、その間含水率は 30% から 50% に増加している。深度 85 ~ 123cm の帯磁率は $10 \sim 15 \times 10^{-5}$ SI と比較的高い値を示している。一方、含水率は深度 85 ~ 110cm の間に、下位に向かって 50 から 25% まで減少し、110 ~ 123cm の間は 25% 前後を示している。それ以深の帯磁率は、 9×10^{-5} SI 前後で推移しているが、深度 156 ~ 154cm のラミナを伴う泥質堆積物では 5×10^{-5} SI

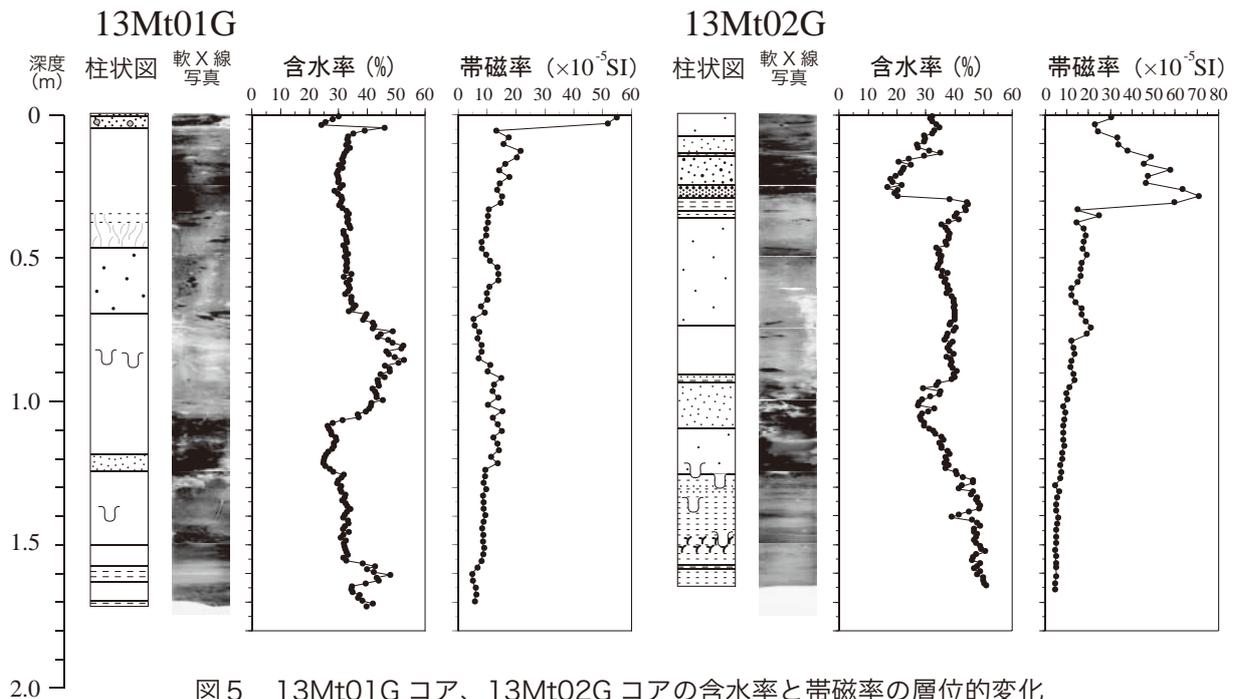


図5 13Mt01G コア、13Mt02G コアの含水率と帯磁率の層的变化

前後と低い値を示している。含水率も同様に 30%前後で推移しているが、ラミナを伴う泥質堆積物では 40% 以上と高い値を示す。

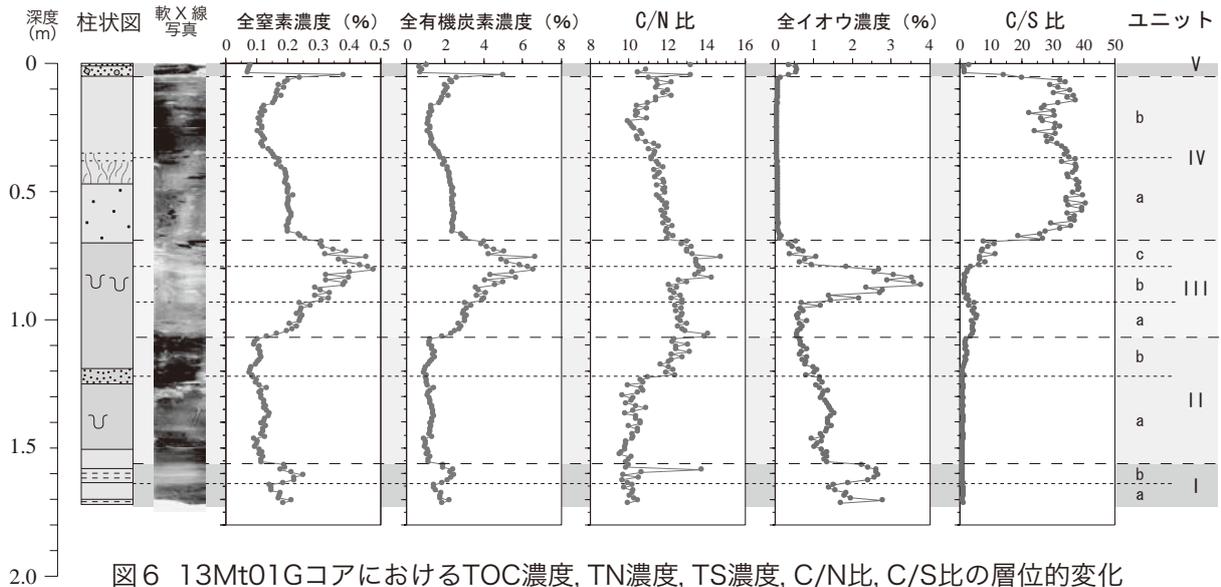
13Mt02G コアの含水率は、コアトップから深度 29cm まで減少傾向にある (図 5)。しかし、深度 15cm 付近の弱いラミナを伴う泥の層では、35%と比較的高い。深度 25 ~ 29cm のルーズな砂層では 20%以下ともっとも低い値を示している。一方、その層準の帯磁率は、20 から $70 \times 10^{-5} \text{SI}$ へと増加する傾向にある。深度 29 ~ 93cm の層準は、含水率がおおむね 40%前後で推移するが、その上部は 35%前後のやや低い値を示している。その層準の帯磁率は、19 から $13 \times 10^{-5} \text{SI}$ まで増減を繰り返しながら減少傾向にある。深度 93 ~ 110cm の極細粒砂質泥の層準は、含水率が 30%前後を示し、それ以深では増加傾向にある。深度 125cm 以深のラミナを伴う泥質堆積物では増加傾向は緩やかになるが、コアボトムでは 50%達する。帯磁率は、深度 93cm 以深でも減少し続け、コアボトムでは $5 \times 10^{-5} \text{SI}$ を示す。

(3) CNS 元素分析結果

有機炭素 (TOC) 濃度は、おもに有機物 (生物) の生産性、有機物の分解、堆積速度などに関連して変化することが知られている (Muler and Suess, 1979; Sampei et al., 1994 など)。C/N 比は、有機物の種類によって窒素の比率が異なることから有機物の起源を反映している。一般にプランクトン起源の有機物では 6 前後、陸源高等植物起源の有機物では 15 以上を示すといわれている (Muler, 1977; 中井ほか, 1982 など)。なお、C/N 比は、無機窒素の影響もあるため、TOC 濃度が 0.7% 以下は議論しないものとする。全イオウ (TS) 濃度は、海水中に多く含まれる硫酸イオンが還元されて固定されたイオウの割合を示している。したがって、通常、淡水成堆積物にはほとんど含まれず、低い TS 濃度を示す (Berner, 1984)。一方、貧酸素環境を示す汽水湖の堆積物などは、高い TS 濃度を示している (Sampei et al., 1997)。

13Mt01G コアにおけるコアトップから深度 5cm の TOC 濃度は、0.7%前後と低い値を示す (図 6)。深度 5 ~ 69cm は緩やかな減少と増加を示しながら、1 ~ 2%で推移している。深度 69 ~ 107cm は、2%以上を示し、深度 80cm では 6.6%に達する。深度 107 ~ 156cm の層準は、1%前後を示すが、それ以深では 2%前後の値を示す。全窒素 (TN) 濃度は、0.05 ~ 0.5%の範囲であるが、TOC 濃度の変化

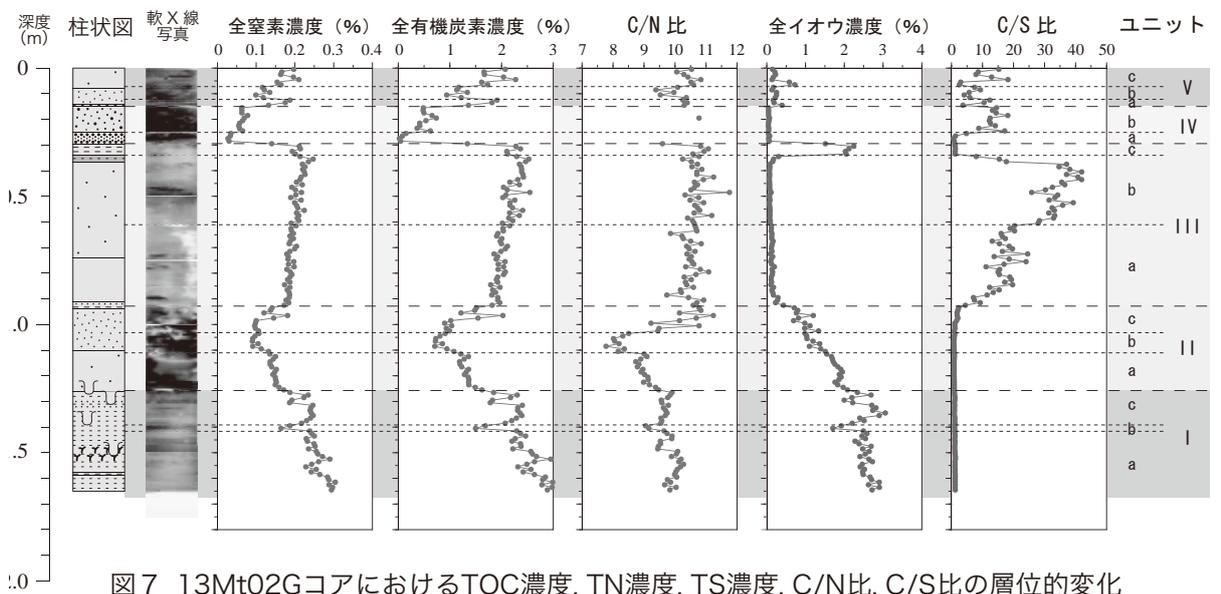
13Mt01G



と同調的である。C/N比は、コアトップから深度69cmまでは11～12、深度69～83cmは14前後、深度83～122cmの層準では11～12、深度122cm以深では10前後を示した。全イオウ（TS）濃度は、コアトップから深度5cmで0.5%前後であった。深度5～69cmは、0.1%以下と低い値を示すが、上部（深度5～37cm）ではC/S比が30前後を示すのに対し、下部（深度37～69cm）では35前後を示す。深度69cm以深では0.5%以上で、特に深度79～93cmでは、約4%に達する。また、深度156～164cmでは、約3%の高い値を示し、それ以深では1.5%前後を示している。これらの値の特徴に基づいて下位からI～Vのユニットとそれぞれ2～3のサブユニットに区分した。

13Mt02G コアの TOC 濃度は、コアトップから深度29cmまで段階的に減少している（図7）。コアトップから深度7cmまでは、1.6～2.3%の範囲、深度7～12cmは0.9～1.3%の範囲、深度15～25cmは0.4～0.7%の範囲、深度25～29cmは0.1%以下で推移している。深度12～15cmの弱いラミナを伴う暗い色調の泥は、2%に近い値を示した。深度29～93cmでは、TOC濃度は2.5%から1.8%まで下位に向かって緩やかに減少する。深度93～111cmでは、1.5%から0.7%まで急速に減

3Mt02G



少している。深度 111～127cm では、1% とやや高い値を示す。深度 127cm 以深は、2.2% から 3.0% まで緩やかに増加する傾向にある。その中で深度 139～141cm では、1.5% 前後と低い値を示している。TN 濃度は、0.03～0.3% の範囲であるが、TOC 濃度の変化と同調的である。C/N 比は、コアトップから深度 103cm までは 10～11 の範囲で推移している。深度 103～111cm では、8 前後で推移している。深度 111～127cm では、9 前後で下位に向かって増加する傾向にある。深度 127cm からコアボトムの層準では 10～11 の範囲で推移しているが、深度 139～141cm ではやや低い値を示している。TS 濃度は、コアトップから深度 15cm までが 0.15% 前後である。深度 15～29cm では、0.05% 以下と極めて低い値を示す。深度 29～34cm の層準では 2% 以上と高い値を示すが、その下位の深度 34～92cm の層準では 0.15% 以下と低い値を示す。特にその上部（深度 34～61cm）は、0.06% 前後と低く、逆に C/S 比は 30～40 と高い値を示す。一方、下部（深度 61～92cm）は、0.12% 前後とわずかに高く、C/S 比は 10～20 と低い値を示している。深度 92～127cm では、TS 濃度は 0.4% から 2.3% まで増加する。深度 127cm からコアボトムの層準では 2.5% 前後で推移しているが、深度 139～141cm では 1.7% と低い値を示している。これらの値の特徴に基づいて下位から I～V のユニットとそれぞれ 2～3 のサブユニットに区分した。

(4) 蛍光 X 線主要元素分析結果

XRF 主要元素分析は、主に無機碎屑粒子の特徴、酸化還元状態、海成／淡水成の判定などに使われる。ここでは 10 の主要元素の含有率の層位的変化について報告する。

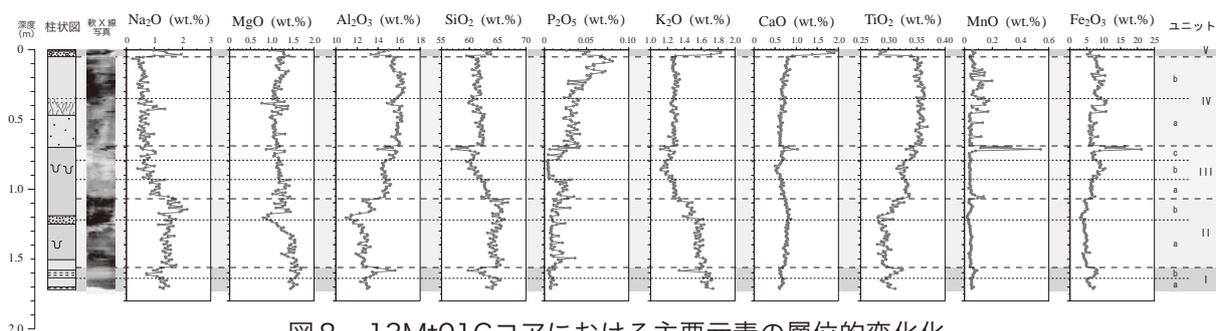


図8 13Mt01Gコアにおける主要元素の層位的変化

13Mt01G コアの Al_2O_3 含有率は、11～16wt% の範囲で変化する（図8）。コアトップから深度 5cm の層準では、13～15wt% である。深度 5～79cm の層準は 16wt% 前後、深度 79～107cm は 14wt% 前後で推移している。深度 107～122cm は、14 から 11wt% に減少する傾向にある。深度 122cm 以深では 12wt% 前後で推移しているが、深度 146～164cm では、16wt% と高い値を示している。MgO 含有率は 0.7～1.5wt% の範囲であるが、 Al_2O_3 含有率の変化と同調的である。しかし、深度 120cm 付近を境界にしたコア上部より下部の方が高い値を示している。 TiO_2 含有率は 0.27～0.35wt% の範囲で変化しているが、これも Al_2O_3 含有率の変化と同調的である。MnO、 Fe_2O_3 含有率も Al_2O_3 含有率の変化とほぼ同調的であるが、いくつかの層準で高い値を示している。特に深度 70cm 付近では著しく高い。 Na_2O 、 SiO_2 含有率は、それぞれ 0.5～2.5wt%、57～65wt% の範囲であるが、 Al_2O_3 含有率の変化と逆相関的に変化する。 K_2O 、CaO 含有率は、それぞれ 1.1～1.8wt%、0.5～2.0wt% の範囲で変化し、 SiO_2 含有率の変化とほぼ同調的である。一方、 P_2O_5 含有率は、独立して変化している。コアトップから深度 5cm は、0.05wt% 前後と比較的高い値で、深度 5～16cm の層準では、0.07wt% 前後と高い値で推移する。深度 16～79cm では、0.04wt% 前後で推移している。深度 79～93cm では、0.01wt% 以下と非常に低い値を示す。深度 93～103cm では、0.02wt% 前後とやや高い値を示してい

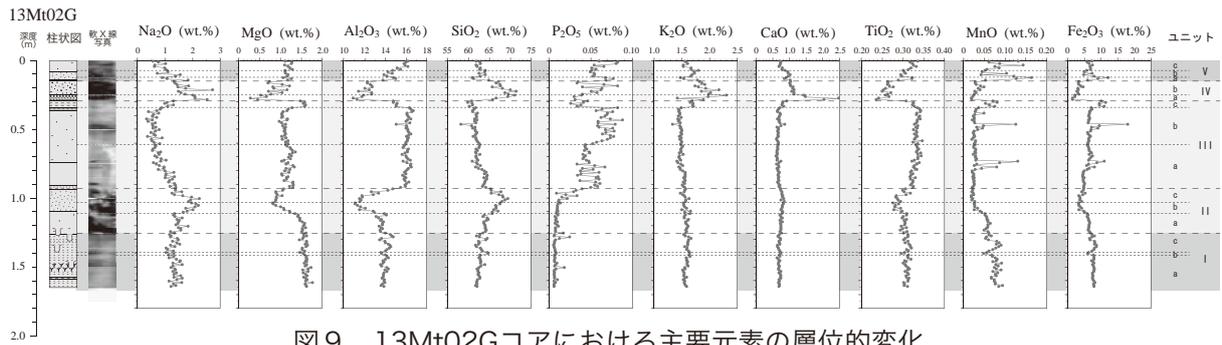


図9 13Mt02Gコアにおける主要元素の層的变化

る。それ以深は 0.01wt% 前後で推移している。

13Mt02G コアの Al_2O_3 含有率は、10～16wt% の範囲で変化する（図9）。コアトップから深度29cm では、16wt% から 10wt% まで下位方向に減少する。深度29～34cm は 15wt% 前後、深度34～92cm の層準は 16wt% 前後と高い値で推移している。深度92～111cm は、11wt% 前後と低い値を示す。深度111cm 以深では 13wt% 前後で推移している。MgO 含有率は 0.5～1.5wt% の範囲であるが、 Al_2O_3 含有率の変化と同調的である。しかし、深度34～92cm の層準より深度34～92cm および深度111cm 以深の方が高い値を示している。TiO₂ 含有率は 0.22～0.35wt% の範囲で変化しているが、これも Al_2O_3 含有率の変化と同調的である。CaO 含有率は 0.5～2.5wt% の範囲で変化し、 Al_2O_3 含有率の変化とほぼ同調的である。しかし、深度29～34cm で著しく高い値を示し、また、深度92～111cm で見られる Al_2O_3 含有率の低い値を示す層準が認められない。MnO、Fe₂O₃ 含有率も Al_2O_3 含有率の変化とほぼ同調的である。しかし、いくつかの密度の高い層準（深度47cm など）で高い値を示している。Na₂O、SiO₂ 含有率は、それぞれ 0.5～2.5wt%、60～70wt% の範囲であるが、 Al_2O_3 含有率の変化と逆相関的に変化する。K₂O 含有率は、1.5～2.0wt% の範囲で変化し、深度34cm 以深は 1.5 wt% 前後で推移している。一方、P₂O₅ 含有率は、独立して変化している。コアトップから深度25cm は、0.06wt% 前後と比較的高い値で、深度25～34cm の層準では、0.03wt% 前後と低い値で推移する。深度34～61cm は、0.07wt% 前後、深度61～92cm では、0.05wt% 前後と相対的に高い値を示す。深度92cm 以深では、0.01wt% 以下と低い値を示している。

(5) AMS¹⁴C 年代測定

13Mt01G コアおよび 13Mt02G コアでは、AMS¹⁴C 年代測定をそれぞれ 1 試料ずつ行った。年代測定用試料は、コアから任意にピックアップした植物片を用いた。年代測定は、(株)地球科学研究所に依頼して行い、¹³C 補正の年代値を INTCAL13 暦年較正データセット (Reimer et al., 2009) による暦年較正プログラム「CALIB 7.0」を用いて暦年代値に変換した (表1)。

13Mt01G コアの ¹⁴C 年代は、深度 88.5cm の植物片試料を用いて測定し、2920 yr BP という年代値が得られた。暦較正年代は 3065 cal yr BP であった。13Mt02G コアの ¹⁴C 年代は、深度 86.5cm の植物片試料を用いて測定し、70 yr BP という年代値が得られた。この年代は、1690 年以降を示している。

表1 年代測定結果一覧

Lab.No.	Sample No.	Core Measured Depth (cm)	C ¹⁴ Age std.	C ¹³ /C ¹² Conventiona Ratio C ¹⁴ Age std. (‰)	Cal BP	Intercept of C ¹⁴ Age (Cal AD)	Material	Location Latitude Longitude	Sampling date			
Beta-365766	13Mt01-88	88.5	2950	30	-27.1	2920	30 IntCal13	3065 BC	1115 (1211-1020)	Plant material	35° 28.72 E 133° 4.08 N	2013/2/6
Beta-365765	13Mt02-86	86.5	90	30	-26.0	70	30 IntCal13	- AD	- (1690-1730)	Plant material	35° 28.82 E 133° 3.80 N	2013/8/21
												(1810-1920) (Post 1950)

5. 考察

これらの分析結果から、13Mt01G コアおよび 13Mt02G コアの古環境変遷史を検討し、過去の水域の特徴について考察を行なう。

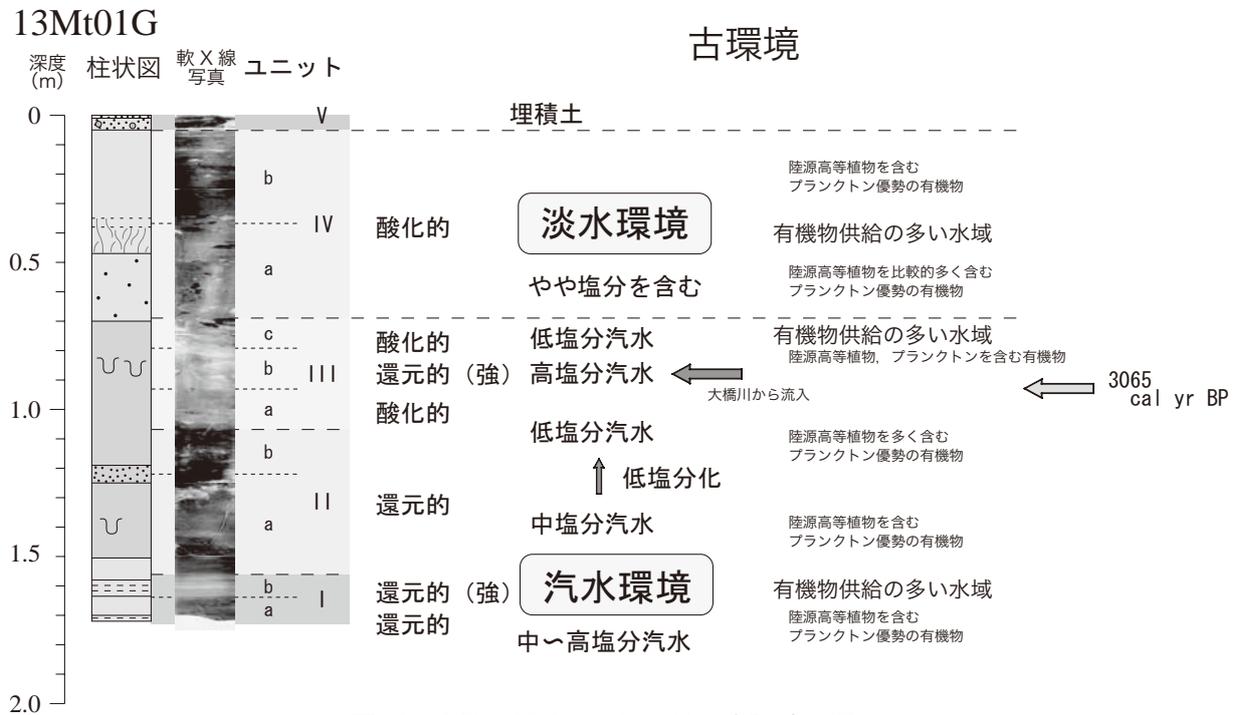


図10 13Mt01Gコアにおける古環境変遷史

(1) 13Mt01G コアにおける古環境変遷史

01G ユニット I (深度 172 ~ 156cm) は、TS 濃度が高いことから海水または汽水環境を示す(図 10)。また、C/S 比、 P_2O_5 含有率が低いことから、還元的な環境を示している。TOC 濃度も高いことから、有機物の供給の多い水域であることが推定される。有機物の起源は、C/N 比が 10 前後を示すことから、陸源高等植物起源の有機物を含むプランクトン起源の優勢の有機物だと思われる。サブユニット Ib は、TS 濃度が高く、ラミナが見られることから、サブユニット Ia より強い還元的環境を示すものと思われる。サブユニット Ib の深度 159cm で見られる灰色のラミナは、C/N 比の著しく高く、洪水を示す堆積物と思われる。

01G ユニット II (深度 107 ~ 172cm) は、TS 濃度が比較的高いことから海水または汽水環境を示す。C/S 比、 P_2O_5 含有率が低いことから、還元的な環境を示している。そのような中で TS 濃度が 01G ユニット I よりやや低いことから、中塩分汽水程度の水質環境を示しているものと思われる。01G サブユニット IIb は、01G サブユニット IIa よりさらに低く、低塩分化を示唆しているものと思われる。サブユニット IIa の C/N 比は、10 前後を示すことから、陸源高等植物起源の有機物を含むプランクトン起源の優勢の有機物だと思われる。一方、01G サブユニット IIb の C/N 比は、12 前後を示し、プランクトン起源の優勢の有機物であるが、陸源高等植物起源の有機物を多く含むものと思われる。

01G ユニット III (深度 69 ~ 107cm) は、TOC 濃度が高いことで特徴づけられ、有機物の供給の多い水域であることが推定される。C/N 比は、12 前後を示し、プランクトン起源の優勢の有機物であるが、陸源高等植物起源の有機物を多く含むものと思われる。しかし、01G サブユニット IIIc 付近の C/N 比は、13 ~ 14 とさらに高く、プランクトン起源と陸源高等植物起源の両方を含む有機物であると推定される。

TS 濃度は、比較的高いことから海水または汽水環境を示す。01G サブユニット IIIa は、TS 濃度が相対的に低く、C/S 比、 P_2O_5 含有率がやや高いことから、低塩分汽水で酸化的な環境を示すものと思われる。一方で、01G サブユニット IIIb は、TS 濃度が極めて高く、C/S 比、 P_2O_5 含有率が低いことから、高塩分汽水で還元的な環境を示しているものと思われる。これは一時的に大橋川から高塩分汽水が流入したものである。サブユニット IIIc は、01G サブユニット IIIa と近い環境を示しているが、さらに酸化的か、低塩分が進行しているものと思われる。

01G ユニット IV (深度 5 ~ 69cm) は、TS 濃度が低く、C/S 比、 P_2O_5 含有率が高いことから淡水で酸化的な環境を示しているものと思われる。サブユニット IVa ではわずかながら TS 濃度が高いことから、やや塩分を含むような水質環境を示していたものと思われる。また、TOC 濃度も高いことから、有機物の供給の多い水域であることが推定されるが、01G サブユニット IVb の下部では、TOC 濃度がやや低く、有機物の供給は多くない。有機物の起源は、C/N 比が 11 前後を示すことから、陸源高等植物起源の有機物を比較的多く含むプランクトン起源の優勢の有機物だと思われる。01G サブユニット IVb の下部では、C/N 比が 10 前後を示し、プランクトン起源の有機物がより優勢であることを示している。

01G ユニット V (深度 0 ~ 5cm) は、産状から埋積土と考えている。

13Mt02G

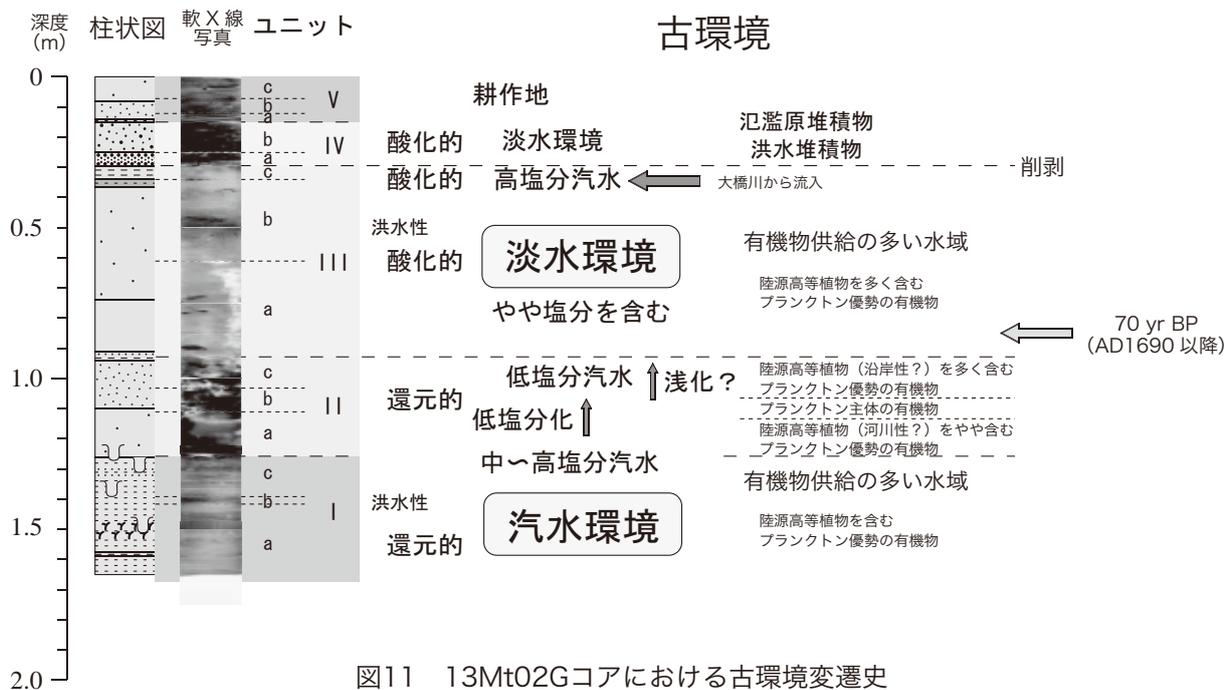


図11 13Mt02Gコアにおける古環境変遷史

(2) 13Mt02G コアにおける古環境変遷史

02G ユニット I (深度 165 ~ 127cm) は、TS 濃度が高いことから海水または汽水環境を示す(図 11)。また、C/S 比、 P_2O_5 含有率が低いことから、還元的な環境を示している。TOC 濃度も高いことから、有機物の供給の多い水域であることが推定される。有機物の起源は、C/N 比が 9 ~ 10 を示すことから、陸源高等植物起源の有機物を含むプランクトン起源の優勢の有機物だと思われる。02G サブユニット Ib はその中でも TOC、TN、TS 濃度のいずれもが低いことから、洪水による無機碎屑物の供給によって希釈されたものと思われる。

02G ユニット II (深度 127 ~ 92cm) は、TS 濃度が高いことから海水または汽水環境を示す。C/S 比、 P_2O_5 含有率が低いことから、還元的な環境を示している。そのような中で TS 濃度が減少傾向にある

ことから、水質環境が低塩分を示唆しているものと思われる。また、02G サブユニット IIa からは底生有孔虫の *Haplophragmoides canariensis* の産出が確認されている。この有孔虫種は、山陰地方では、中海、大橋川、宍道湖から遺骸個体が認められている (Nomura and Seto, 1992; 野村・遠藤, 1998; 瀬戸ほか, 2000)。Takata et al. (2009) では、大橋川の中流域で *H. canariensis* の生体群集の存在を明らかにし、中程度の TOC 濃度 (1.28-4.36%) でシルト～細粒砂の底質に生息していることを示唆している。大橋川の中流域は、中塩分程度の汽水を示すが、宍道湖からの低塩分汽水や中海からの高塩分汽水の影響も受けており、幅広い塩分環境の影響下にある (藤井ほか, 2006 など)。出雲平野のコアからも同じような産状を示す *H. canariensis* が認められており、同様な解釈がなされている (瀬戸ほか, 2012)。02G ユニット I とこのユニットは、汽水環境を示し、低塩分化の過程で *H. canariensis* が生息できる環境に変化したものと思われる。02G サブユニット IIb の C/N 比は、8 前後を示すことから、プランクトン起源の有機物が主体である。一方、下位の 02G サブユニット IIa は、やや陸源高等植物起源の有機物を含んでいるようである。上位の 02G サブユニット IIc はさらに C/N 比が高いことから、陸源高等植物起源の有機物をより多く含んでいると思われる。これらのことは、河川からの陸源高等植物起源の有機物の供給が少なくなった後に、水域の浅化に伴い沿岸から陸源高等植物起源の有機物の供給を受けたのかもしれない。

02G ユニット III (深度 92～29cm) は、TS 濃度が低いことから淡水で酸化的环境を示しているものと思われる。02G サブユニット IIIa ではわずかながら TS 濃度が高いことから、やや塩分を含むような水質環境を示していたものと思われる。一方、02G サブユニット IIIc は、TS 濃度が高いことから海水または汽水環境を示す。また、 P_2O_5 含有率がそれほど低くないことから、酸化的环境を示している。酸化的环境で TS 濃度が高いことから、高塩分汽水の水質環境を示しているだろう。おそらく、一時的に大橋川から高塩分汽水が流入したものと思われる。また、TOC 濃度も高いことから、有機物の供給の多い水域であることが推定される。有機物の起源は、C/N 比が 10～11 を示すことから、陸源高等植物起源の有機物を比較的多く含むプランクトン起源の優勢の有機物だと思われる。C/N 比が 11 を越える層準は、軟 X 線写真 (図版 2) により相対的に密度が高いことから小規模な洪水を示しているものかもしれない。

02G ユニット IV (深度 29～15cm) は、TS 濃度が低いことから淡水で酸化的环境を示しているものと思われる。02G サブユニット IVa は、ルーズな砂質堆積物で上方細粒化も見られ、下位の地層も削剥されていることから、河川の洪水によって形成されたものと思われる。その上位の 02G サブユニット IVb は、TOC 濃度もやや高いことから、洪水による氾濫原堆積物だと思われる。

02G ユニット V (深度 15～0cm) は、TOC 濃度、 P_2O_5 含有率、MnO 含有率などが高い値を、TS 濃度もやや高い値を示し、C/N 比が相対的に低い値を示すことから、耕作土と考えている。

(3) 3Mt01G コアと 13Mt02G コアの対比

13Mt01G コアと 13Mt02G コアの分析結果と古環境変遷史から対比を試みた (図 12)。01G ユニット I～III と 02G ユニット I～II は、ともに汽水環境を示す。01G ユニット III は、13Mt02G コアに見られない特徴を示しているが、01G ユニット I と 02G ユニット I、01G ユニット II と 02G ユニット II は分析値および推定された環境が類似している。そのため、それらのユニットは対比できるものと考えられる。一方、13Mt02G コアの 01G ユニット III 相当層は、上位の地層が堆積するときに削剥されたものと考えられる。01G ユニット III では、3065 cal yr BP の年代値が得られている。当時の宍道湖は、斐伊川が出雲平野側に向いていたため、宍道湖は汽水環境を示していたと考えられている (高安ほ

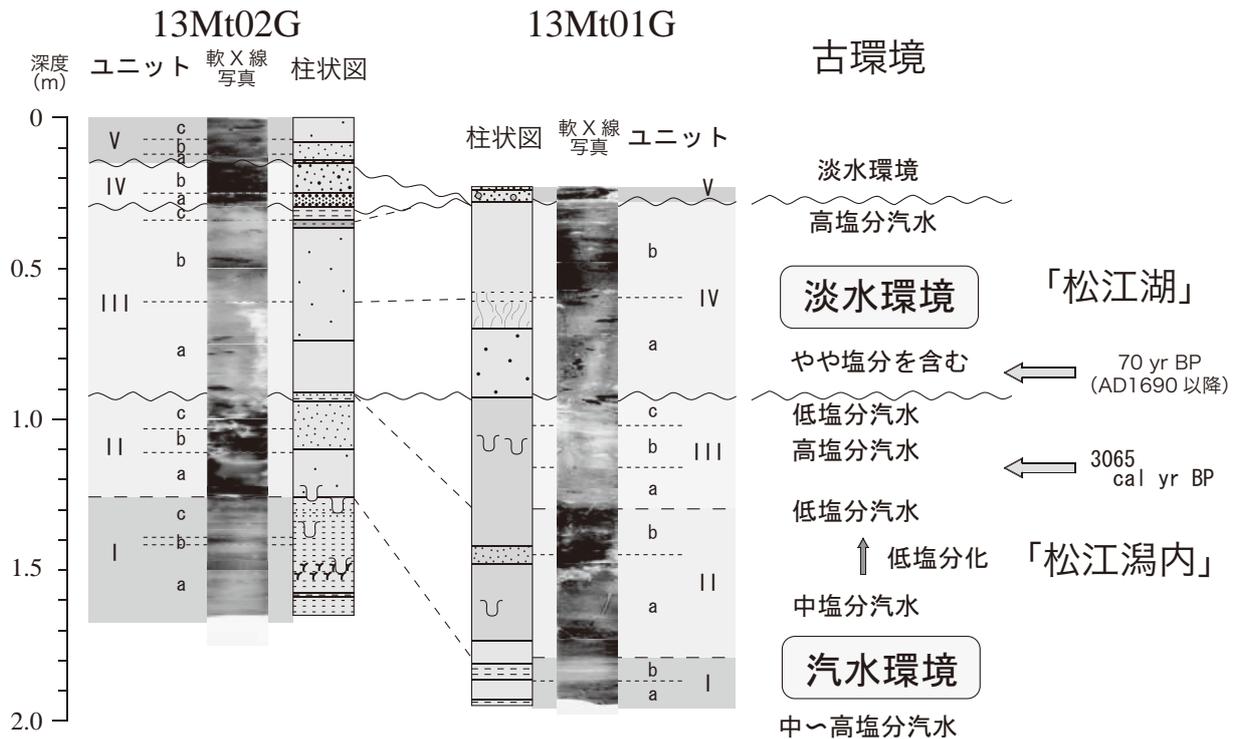


図12 13Mt01Gコアと13Mt02Gコアの対比と古環境

か、2000；瀬戸ほか、2006 など）。松江平野北部でも、宍道湖の水質環境を反映した水域であったことが推定される。

01G ユニット IV と 02G ユニット III は、ともに淡水環境を示す。これらのユニットは分析値および推定された環境が類似しており、対比されるものと思われる。02G サブユニット IIIc 及び 02G ユニット IV 相当層は、13Mt01G コアでは見られない。01G ユニット V が埋積する前に削剥されたものと思われる。02G サブユニット IIIa の ^{14}C 年代は、70 yr BP という年代値が得られた。この年代は、1690 年以降を示している。当時は、斐伊川東流イベント（瀬戸ほか、2006）後であるから、宍道湖は淡水に近かったと推定されている（田村ほか、1996；瀬戸ほか、2006）。しかし、02G サブユニット IIIc では、比較的塩分の高い水塊が流入している。これは、大橋川までは比較的高塩分の水塊が流入していたことが示唆される。

(4) 松江平野北部の発達史と湖沼の環境

松江平野北部は、約 3000 年前までは汽水湖であった。この水域は、プランクトン起源の有機物を多く含むことから、比較的汚濁の進んだ富栄養環境を示す比較的浅い中～高塩分汽水湖であったと推定される。有機物に陸源高等植物を含んでいることから、河川の影響があったことが示唆される。河川の規模から考えると、現在の朝酌川の影響が大きかったものと思われる。渡辺・瀬戸（2014）によれば、さらに南の松江平野中部でも同様な環境が推定され、その標高は東に向かって深くなる傾向を示している。そのため、この汽水湖は、南東に向いた形状を示していた可能性を指摘することができる。

16 世紀以降に見られる淡水域は、プランクトン起源の有機物を多く含むことから、富栄養化した浅い淡水湖であったと推定される。有機物に陸源高等植物を含んでいることから、約 3000 年前までの汽水湖と同様、現在の朝酌川の影響があったものと思われる。

この 2 つの水域の間には、2500 年以上の時間の間隙がある。01G ユニット III 相当層が削剥によっ

て消滅していることから、その間の堆積物が浸食されている可能性もあるが、2500年間の一般的な堆積速度から推定される堆積量を考えると、その可能性は低いものと思われる。これらの堆積物の標高も考慮して、埋積によって陸化したと考える方が妥当である。その埋積による浅化の過程で、01G ユニット II 及び 02G ユニット II で見られるような低塩分が起り、ついには陸化したのだろう。

16世紀以降に見られる淡水域は、宍道湖の淡水化以降にあたるので、斐伊川東流による水位の上昇によって形成された可能性が考えられる。しかし、松江平野中部にその年代に相当する堆積物が確認されていない（渡辺・瀬戸、2014）。おそらく、朝酌川の自然堤防の発達により、閉鎖され、そこに朝酌川の水が流入したものと考えている。その後、おそらく人為的な改変によって、大橋川からの高塩分汽水の流入があったものと考えている。最後は、朝酌川の洪水によって埋積されたものと思われる。

林（1991）では、松江平野に見られる一連の水域を「古松江湖」と呼んでいる。しかし、松江平野北部の湖沼の特徴や形成過程を考慮すると、それと区別した方が良いと考える。ここでは、約3000年前までの汽水湖を「松江瀉内」、16世紀以降に見られる淡水域を「松江湖」と呼ぶことを提唱したい。しかし、年代測定および対比が不十分であることから、新しいコアの解析も含め、今後さらに検討を行う必要があるだろう。

まとめ

松江市学園1丁目（13Mt01G）と菅田町（13Mt02G）の2カ所でジオスライサーを用いてコアを採取し、コアの記載、地球化学分析（CNS 元素分析、XRF 主要元素分析）を行い、古環境変遷史を考察した。古環境解析の結果、汽水環境から淡水環境に変化することが明らかとなり、その2つの環境の間には、2500年以上の時間の間隙があることが明らかとなった。約3000年前までの汽水域は、南東に向いた形状を示した富栄養化した浅い汽水湖、「松江瀉内」と呼ぶことを提唱した。16世紀以降に見られる淡水域は、松江平野北部に見られる富栄養化した浅い淡水湖で「松江湖」と呼ぶことを提唱した。しかし、年代測定および対比が不十分であることから、新しいコアの解析も含め、今後さらに検討を行う必要があることを指摘した。

〔謝辞〕 本研究を進めるにあたり、島根大学ミュージアムの會下和宏准教授には附属中学の試料採取に便宜を図っていただいた。コアの分割については、池田洋子氏をはじめ、島根大学の学生諸氏にお世話になった。帯磁率測定、軟X線写真撮影、粉末試料の作成などについては、船来桂子氏（島根大学汽水域研究センター）に大変お世話をいただいた。また、松江市教育委員会松江市史編纂室の諸氏には無形の援助を頂いている。本研究まとめるに当たり、これらの方々に深く感謝の意を示します。

13Mt01G



a: 植物根のある層準
(深度 40cm 付近)



b: 色調の変わる層準
(深度 70cm 付近)

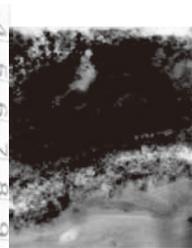


c: ラミナの層準
(深度 160cm 付近)

13Mt02G



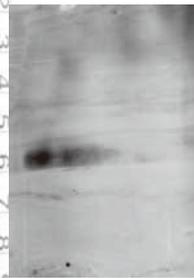
d: ルーズな砂 (深度 24~31cm)



軟 X 線写真



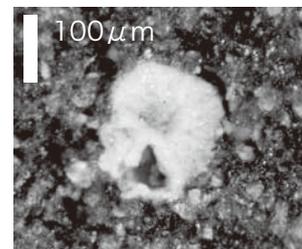
e: 弱いラミナのある黒色の層 (深度 31~40cm)



軟 X 線写真



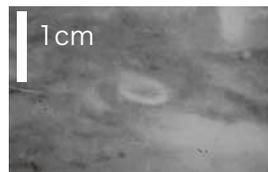
f: 色調の変わる層準
(深度 84~103cm)



i: 有孔虫化石
(*Haplophragmoides canariensis*)
(深度 120cm 付近)



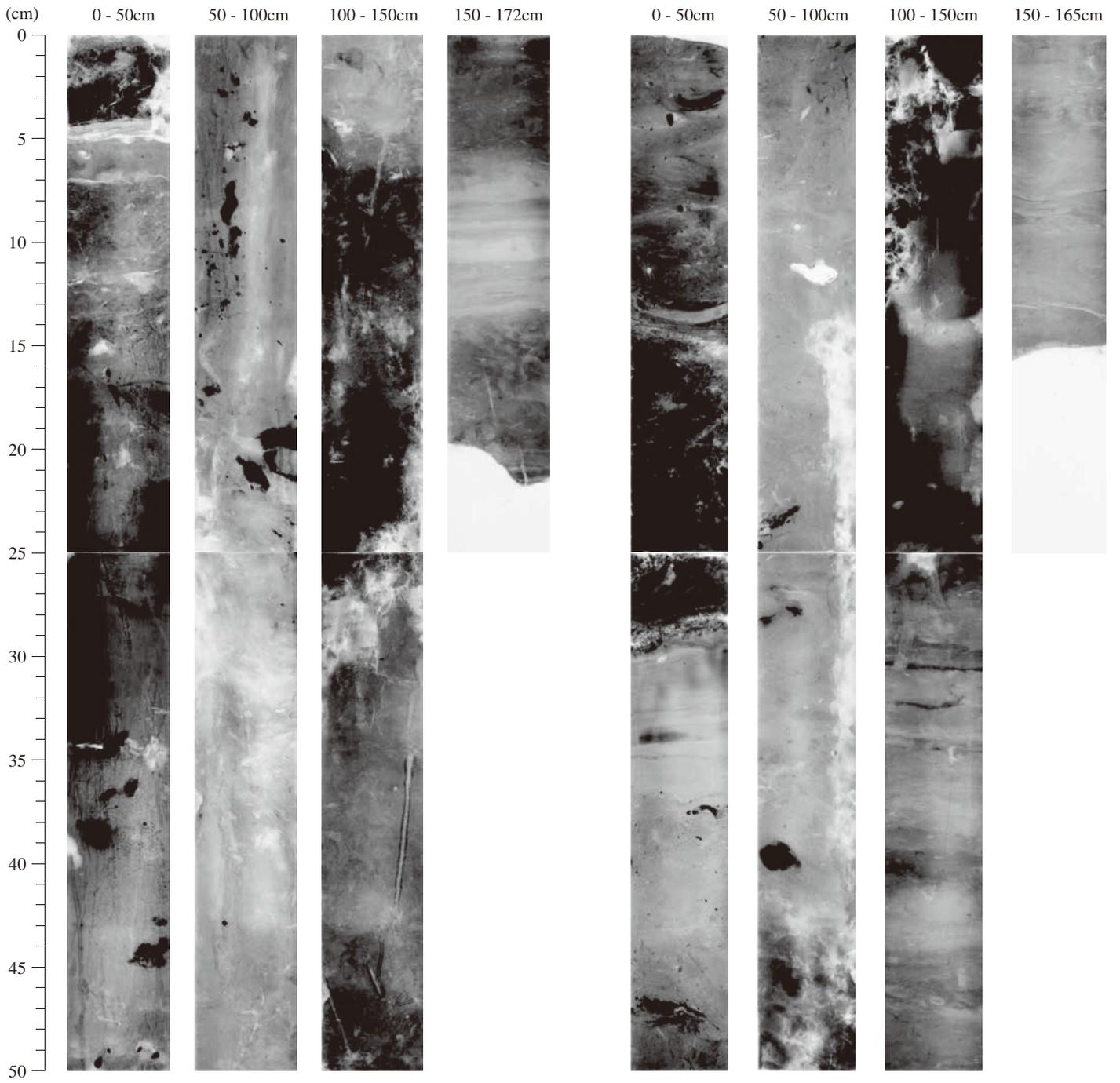
g: 植物化石密集層 (深度 147~155cm)



h: 生痕化石 (巣穴)
(深度 147cm 付近)

13Mt01G core 軟 X 線写真

13Mt02G core 軟 X 線写真



引用文献

- Berner, R. A. (1984) Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochemica et Cosmochemica acta*, 48, 605-615.
- 藤井智康・森脇晋平・奥田節夫 (2006) 大橋川を遡上する貧酸素水塊の実状と宍道湖に及ぼす影響. *LAGUNA (汽水域研究)*, 13, 1-7.
- 林 正久 (1991) 松江周辺の沖積平野の地形発達史. *地理科学*, 46 (2), 55-74.
- 小森次郎・遠藤邦彦・長谷川史彦・田村 聖 (2000) 東京世田谷区北部の淀橋台地西端における第四紀後期層序. *日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要*, 35, 115-124.
- Muler, P. J. (1977) C/N ratios in Pacific deep-sea sediments ; Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochemica et Cosmochemica acta*, 41, 765-776.
- Muler, P. J. and Suess, E. (1979) Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic matter in the oceans-I. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Res.*, 26, 1347-1362.
- 中井信之・太田友子・藤澤寛・吉田正夫 (1982) 堆積物コアの炭素同位体比, C/N 比および FeS₂ 含有量からみた名古屋港周辺の古気候, 古海水準変動. *第四紀研究*, 21, 169-177.
- Nomura, R. and Seto, K. (1992) Benthic foraminifera from brackish lake Nakanoumi, San-in district, Southwestern Honshu, Japan. *Centenary of Japanese Micropaleontology*, 227-240.
- 野村律夫・遠藤公史 (1998) 汽水域における人的改造と有孔虫群集の変化—その 5 Ammonia event の提唱と 2005 年の宍道湖—. *LAGUNA (汽水域研究)*, 5, 15-26.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard E., Bayliss, A., Beck J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Burr, G. S., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., McCormac, F. G., Manning, S. W., Reimer, R. W., Richards, D. A., Southon, J. R., Talamo, S., Turney, C. S. M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C. E. (2009) IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51 (4) , 1111-1150.
- Sampei, Y., Yomura, H., Otsuka, M., Oshida, K and Suzuki, N. (1994) Decomposition of organic matter and the organic carbon content of sediments in Lake Shinji, Southwest Japan. *EARTH SCIENCE*, 48, 4, 317-332.
- Sampei, Y., Matsumoto, E., Kamei, T. and Tokuoka, T. (1997) Sulfur and organic carbon relationship in sediments from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan. *Geochem. J.*, 31, 245–262.
- 瀬戸浩二・真先修・田中邦昌・高安克己 (2000) 宍道湖における底生有孔虫群集. *島根大学地球資源環境学研究報告*, 19, 65-76.
- 瀬戸浩二・中武誠・佐藤高晴・香月興太 (2006) 斐伊川の東流イベントとそれが及ぼす堆積環境への影響. *第四紀研究*, 45, 375-390.
- 瀬戸浩二・岡崎裕子・酒井哲弥・高田裕行・山田和芳・渡邊正巳 (2012) 第 4 章 出雲平野南西部の形成過程 —神戸川河口域の古環境変遷史. *出雲風土記の研究*, 45-59.
- Takata, H., Dettman, D. L., Seto, K., Kurata, K., Hiratsuka, J. and Kim, Boo-Keun (2009) Novel habitat preference of Ammonia “beccarii” forma 1 in a macrobenthic community on hard substrates in the Ohashi River, southwest Japan. *Journal of Foraminiferal Research*, 39, 87-96.
- 高安克己・田中秀典・佐藤慎一 (2000) 宍道湖コア SJ96 に見られるヌマコダキガイ密集層の古環境的意味 -

- サンフランシスコ湾の例との比較から -. 島根大学地球資源環境学研究報告, 19, 37-45.
- 田村嘉之・丹後雅憲・井内美郎・徳岡隆夫 (1996) 宍道湖における 17 世紀初頭の汽水から淡水への環境変化—コアの CT 画像解析と堆積, C・N・S 元素分析による検討—. LAGUNA (汽水域研究), 3, 9-56.
- 山田和芳・斎藤耕志・福澤仁之 (1998) 汽水湖底堆積物の採取・分析方法とその最近の進歩. LAGUNA (汽水域研究), 5, 63-73.
- 渡辺正巳・瀬戸浩二 (2012) 松江平野の古環境 (1) - 県道城山北公園線発掘調査に関連して (1) -. 松江城研究, 1 : 49-59.
- 渡辺正巳・瀬戸浩二 (2013) 松江平野の古環境 (2) - 県道城山北公園線 (大手前通り) 発掘調査に関連して (2) -. 松江城研究, 2 : 35-44.
- 渡辺正巳・瀬戸浩二 (2014) 松江平野の古環境 (3) - 県道城山北公園線 (大手前通り) 発掘調査に関連して (3) -. 松江市史研究, 5, 87-93.

(せと こうじ 島根大学汽水域研究センター准教授)

(わたなべ まさみ 島根大学汽水域研究センター・文化財調査コンサルタント株式会社)

(やまだ かずよし ふじのくに地球環境史ミュージアム)

(たかやす かつみ 島根大学 名誉教授)