

珪藻分析を用いた別寒辺牛湿原の形成過程の解明と過去の津波災害の復元

九州大学理学部地球惑星科学科 松島拓

I. はじめに

別寒辺牛湿原が位置する北海道東部太平洋沿岸（図 1a）では、澤井（2007）によって、過去約 2700 年間に 4 回の海水準低下イベントが指摘されている。この海水準低下イベントが別寒辺牛湿原の形成にも影響を与えた可能性がある。また、これまでの九州大学による研究では、別寒辺牛湿原周辺の水域における現生珪藻と別寒辺牛湿原の津波堆積物について報告されてきた。本研究はこれまでの研究を継続し、別寒辺牛湿原北部に位置する高層湿原（図 1b）において、以下のことを明らかにすることを目的とした。

- 1) 高層湿原周辺における現生珪藻の種の分布とその地形・水質との関連性
- 2) 高層湿原が形成された年代及び、現在の高層湿原が形成されるまでの変遷過程
- 3) 別寒辺牛湿原における津波堆積物の分布

II. 調査地域

別寒辺牛湿原の大半は典型的な低層湿原だが、厚岸町市街地から約 10km 北部の別寒辺牛川とトライベツ川に囲まれる沖積低地に高層湿原（図 1c）がある。トライベツ川周辺は低層湿原にあたるヨシ原（Area1）であり、その北部に高層湿原（Area2）が存在する。高層湿原は、ミズゴケが繁茂し、周囲から約 1m 標高が高いドーム状の構造を形成している。高層湿原を縦断すると、中間湿原にあたるヨシ・ササ原（Area3）がある。さらに、その北部には背の低いハンノキが生息し、台地に向かうに連れてその背丈が高くなり、台地の裾では 10m 程度のハンノキ林（Area4）になる。低層湿原にあたるハンノキ林（Area4）は、水草によって凹凸が多い地形で、水位は最大で約 50cm である。

この地域の平均気温は、11 月から 3 月にかけては 0℃を下回り、最も温暖な 8 月でも最高 18℃と冷涼な気候である。一方、年間降水量は 1100mm であり、6 月から 10 月には月平均約 100mm の降水量であることから、冬季の降雪は多くない（Asada, 2001）。

III. 研究の方法

1. 現生サンプル

高層湿原を南東 - 北西方向に縦断する測線 A - A'上の 55 地点において、簡易測量計を用いた測量を行い、標高及び起点からの距離を求めた。また、測線上の 01 - 11 の 11 地点（図 1c）で、表層水やミズゴケ、底質等の 3 種類の現生サンプルを採取した（表 1）。得られた

現生サンプルは表層水の pH 及び電気伝導度（以下、EC という）を測定し、細胞を固定するために、すべてのサンプルにホルマリン数滴を加えた。その後、研究室に戻り、以下の通り処理を行った。

- 1) 表層水は一晩静置した後に上澄み液を取り除いた。
- 2) その後、すべてのサンプルの脱ホルマリンを行った。
- 3) 15%の過酸化水素水を加え、約 5 時間湯煎にかけた。
- 4) 十分に過酸化水素が反応した後に、不要な植物片は蒸留水で洗浄し除去した。
- 5) 蒸留水を加えて遠沈洗浄を 4 回繰り返し行った。
- 6) ホットプレート上のカバーガラスに約 1ml 滴下し、室温で乾燥させた。
- 7) 乾燥後、マウントメディア（和光純薬）で封入した。

なお、表層水以外の試料については、顕微鏡で観察した際に珪藻殻の偏りが顕著に見られたため、塩化アンモニウム水溶液で処理した懸濁液を用いた (Taylor, 2007)

2. コアサンプル

高層湿原中央部 BK-7 地点で、ロシアンコアサンプラーによるボーリングを行い、深度 4.45m までのコアサンプルを得た。採取したコアサンプルは、土の色や粒度、植物片の有無などの層相観察を行い、柱状図を作成した。また、10cm 間隔で約 1g の試料を取り、乾燥機で十分に乾燥させ、乾燥試料を得た。現生サンプルと同様にこれらの乾燥試料を過酸化水素水で処理を行い、プレパラートを作成した。

3. 検鏡

作成したプレパラートは、光学顕微鏡で倍率 1000 倍において珪藻の写真を撮り、渡辺 (2005)、小林ほか (2006)、Krammer and Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b) により、種の同定を行った。その結果を用いて、各プレパラートの検鏡を行い、300 個体を目安に完个体（60%以上の殻を有する個体）のカウントを行った。なお、プレパラートを 1.5 往復した時に、産出する珪藻殻数の合計が 45 個体未満である場合はカウントを中止し、45 個体以上 90 個体以下である場合は 150 個体を目安にカウントを行った。

4. 種の多様度指数

現生サンプル及びコアサンプルにおいて、種の多様性を評価するために、種の豊富さ（種数）及び各種間の均等性（各種の個体数）を考慮した統計量であるシャノン・ベイナーの多様度指数を求めた。多様度指数の算出は、大垣 (2008) 及び大塚 (1998) に従い、式 (1) で算出した (表 2)。なお、 S は産出する種数、 N は総カウント数、 n_i は各種の産出数である。

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log p_i \cdots \text{式(1)}$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

また、珪藻殻はプレパラート内で集中分布する傾向があることから、大塚（1998）で提案される森下（1996）の多様度指数の不偏推定値 H^* （以下、多様度指数 H^* という）を式（2）より算出した（表 2；Fig. 4）。本研究ではこの不偏推定量を多様度指数として採用とした。 S_1 はサンプル中に 1 個体のみ産出する種の数である。

$$H^* = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i + \frac{A}{2N + \frac{A}{3.3}} \cdots \text{式(2)}$$

$$A = S + S_1 \frac{S}{(S - S_1)}$$

現生サンプルについては、各地点の多様度指数の平均値及び最大値、最小値を求めた。

5. 降下火山灰の同定

コアサンプル内の降下火山灰については、以下の通り処理を行った。

- 1) わんがけを行った後、超音波振盪機で洗浄した。
- 2) 30%の過酸化水素水を加え、湯煎にかけた（野尻湖火山灰グループ, 2007）。
- 3) 乾燥後、実体顕微鏡で観察を行い、火山ガラス及び鉱物を分類した（町田・新井, 1992；野尻湖火山灰グループ, 2007）。

得られた結果と別寒辺牛湿原に降下した可能性のある火山灰の特徴（古川・七山, 2006）を比較検討し、降下火山灰を同定した。なお、各降下火山灰の年代は、古川・七山（2006）に従った。

IV. 現生珪藻の分布

1. 水質及び地形（図 2）

ヨシ原（Area1）は、本調査地域で最も標高が低い。弱酸性であり、EC は約 $70 \mu\text{S/m}$ である。一方、周囲より約 1m 標高が高いドーム状の高層湿原（Area2）上では、pH は低下し、中央部においては 4 付近で強酸性環境である。また、EC も同様に大幅に低下し、高層湿原全域で $20 \mu\text{S/m}$ 前後を示す。高層湿原（Area2）からハンノキ林（Area4）に近づくに連れて、pH 及び EC の値は大きくなる。ハンノキ林（Area4）では、pH6.54 とほぼ中性環境であるが、EC の値は約 $40 \mu\text{S/m}$ と低い値を示す。標高はヨシ・ササ原（Area3）のからハン

ノキ林 (Area4) に近づくに連れて低くなるが、湿原北部の台地の裾付近では標高が高くなる。

2. 現生珪藻の分布 (図 3, 4)

pH の変化に従って、産出する珪藻種の変化が見られる。ヨシ原 (Area1) では、生息平均 pH が 4.19 の真酸性種である *Eunotia bilunaris* が特徴的に産出する。

高層湿原 (Area2) では、真酸性から好酸性種の産出割合が約 90% を占める。高層湿原の境界周辺では、真酸性・好清水性種の *Stenopterobia delicatissima* や *Navicula festiva* が産出し、さらに高層湿原中央部に近づくに連れて、有機酸性の湿原に生息する *Eunotia tenelloides* や低ミネラル酸性水域にミズゴケと共に生息する *Eunotia nymanniana* が産出する。高層湿原中央部では、有機酸性・貧栄養水域に生息する *Eunotia paludosa* や高層湿原に典型的に生息する *Frustulia rhomboides*、貧から中栄養水域に生息する *Pinnularia subcapitata*、EC が低い貧栄養水域に生息する *Pinnularia viridiformis* が特徴種として産出する。

ヨシ・ササ原 (Area3) では、中性種の割合が約 50% に増加する。高層湿原 (Area1) との境界領域では、*Cymbella borealis* と弱酸性の腐植栄養水域に生息する *Brachysira brebissonii* が特徴的に産出する。また、ハンノキ林 (Area4) との境界付近では、好酸性種の *Eunotia muscirola*、腐植型貧栄養湖に産出する中性種の *Tabellaria ventricosa*、湿地に生息する付着性の *Tabellaria fenestrata* が特徴的に産出する。

ハンノキ林 (Area4) では、中性から好アルカリ性の珪藻が約 80% を占めるようになる。特に、好アルカリ性・好清水性種である *Fragilaria capucina* と好汚濁性種の *Navicula seminulum* が特徴的に産出する。他の領域と比較して、10 - 20 μ m 程度の小型の珪藻が多い。

3. 多様性 (図 5)

ヨシ原 (Area) では、産出珪藻種の数も多く、多様度指数 H^* も高くなる。一方、高層湿原 (Area2) では、産出珪藻種の数が非常に少なく、多様度指数 H^* も低い値を示す。特に、高層湿原 (Area2) の中央部では種数は約 10 種に限定され、多様度指数 H^* も 2 程度になる。ハンノキ林 (Area4) に近づくに連れて、産出珪藻種数及び多様度指数 H^* は増加する。一方、ヨシ・ササ原 (Area3) において、多様度指数 H^* は局所的に高い値を示す。なお、多様度指数 H^* は、pH と強い相関があり (相関係数 $R=0.72$)、一方で電気伝導度との有意な相関はほぼ認められない ($R=0.39$)。

V. コサンプル結果

1. 層相 (図 6a)

コア下部 4.00 - 4.45m は極細粒砂から細粒砂の上方細粒化が見られる砂層であり、4.00m から表層までの上部は泥炭層である。また、泥炭中の 0.27 - 0.37m 及び 3.76 - 3.82m に 2 層の降下火山灰層が見られる。下部の降下火山灰層を Tephra1、上部の降下火山灰層を Tephra2 とした。泥炭内には植物の根や葉などの粗い植物片が含まれる。

2. 降下火山灰

Tephra1 は、褐灰色で分級の良い細粒火山灰であること、Ps 型 (sponge pumice type) が主体であること、また、非常に少量の普通角閃石を含むことから、Ta-c (2.5ka) と考えられる。

Tephra2 は、0.27 - 0.37m にわたる厚さ 10cm の火山灰層である。上部は褐灰色であり、中部から下部には明るい白灰色の火山灰が混在している。これまでに調査地域周辺では、Ta-a (AD1739)、Ko-c2 (AD1694)、Ta-b (AD1667) の降灰が確認されている (Sawai, 2001; 澤井, 2004b)。そこで、0.20m (A) 及び 0.23m (B)、0.26m (C) の 3 試料を観察し、これらの降下火山灰の特徴 (古川・七山, 2006) と比較検討した。A は少量の Cf 型 (flaky chilled type) の火山ガラスを含むが、Ps 型、Pf 型 (fibrous pumice type) の順に多い。B は A に比べてより多く Cf 型の火山ガラスを含む一方で、火山ガラスはより細粒で Pf 型と Ps 型が主体である。C は、Cf 型の火山ガラスを含まないが、A 及び B と比較して、より粗粒な火山灰であり、Ps 型が多くを占める。以上の特徴から、A は Ta-a であり、B は Ta-a と Ko-c2 が混合した層、C は Ta-b と推定した。

また、一般的に火山灰層内では珪藻化石は産出されないが、Tephra2 では十分な数の珪藻殻が産出されることから、この層では生物攪乱やボーリング調査によるコンタミネーションが生じていると考えられる。したがって、各火山灰は純粋な層序を保っておらず、Ta-a 及び Ko-c2、Ta-b が混合した層であると判断し、Tephra2 の年代は約 300 年前 (AD1667 - AD1739) とした。

なお、降下火山灰の正確な同定については、今後、火山ガラスの EPMA 分析などによる詳細な分析が必要である。

3. 産出珪藻の傾向 (図 6, 7, 8)

コア下部の砂層 4.00 - 4.45m (Zone1) では、真流水性の *Achnanthes lanceolata* や河川の中下流に生息する *Meridion circulare* が産出する。また、海生種の *Cocconeis scutellum* や干潟に生息する *Tryblionella granulata* も産出する。また、好アルカリ性の珪藻が 50% 近くを占め、同時に真流水から好流水性種が 40% 付近である。汚濁性種及び好清水性種が共存し、多様度指数 H^* は 4 - 5 と高い値を示す。

砂層上部の泥炭層 3.40 - 4.00m (Zone2) では、乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数は 10^8 個と非常に多い。汽水から淡水への変化後に産出する淡水生種の *Diploneis* spp. や水深数 m 程

度の水域に特徴的に産出し、現在のハンノキ林 (Area4) にも生息する浮遊性の *Aulacoseira italica* が産出する。Zone1 に比べて好酸性種が増加するもの、好アルカリから中性種が多くを占める。多様度指数 H^* は、Zone1 より減少するものの、変わらず高い値を示す。

Zone2 上部の 0.80 - 3.40m (Zone3) では、ほぼ珪藻殻が産出しない。特に、1.20 - 3.30m においては、乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数は 10^4 個から 10^5 個程度と非常に小さく、表層付近とは約 1000 倍の差がある。現在の高層湿原からヨシ・ササ原 (Area3) に生息する *F. rhomboides*, *Eunotia meisteri*, *E. nymanniana*, *B. brebissonii* などが産出する。

Zone4 (0.60 - 0.80m) では、現在のヨシ・ササ原 (Area3) から高層湿原に生息する珪藻種が産出する。Zone1-2 と比較して産出珪藻種が大きく変化し、真酸性から好酸性種が 90% 近くを占める。乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数は増加傾向を示す。

Zone5 (0.30 - 0.60m) では、Zone4 と同様の珪藻種が産出するが、乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数が大幅に増加する。

降下火山灰 Tephra2 の上部 0.10 - 0.30m (Zone6) では、*E. paludosa* や *P. subcapitata* などの現在の高層湿原 (Area2) に生息する珪藻が産出し、多様度指数 H^* は減少傾向を示す。さらに、乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数が大幅に増加する。

VI. 考察

1. 現生環境

まず、産出する珪藻種から現生環境の特徴を明らかにし、その要因を推定したい。ヨシ原 (Area1) では、強酸性環境を好む珪藻が産出するものの、ハンノキ林 (Area4) と同程度の高い多様度指数 H^* を示し、EC も高層湿原と比較して高い値である。これらのことから、ヨシ原 (Area1) が富栄養の環境であることが推定され、一般的に貧栄養化する高層湿原の環境とは異なることが分かる。これは湿原外部から無機栄養塩の供給があることが原因と考えられ、結果的に多様性に富む富栄養な環境になると推定できる。

高層湿原 (Area2) は、強酸性環境であり、産出珪藻種は強酸性に耐性のある種のみに限定される。その結果、多様度指数 H^* は非常に小さい値を示す。また、産出珪藻種の特徴から、高層湿原の水域が有機酸性や貧栄養、清水性、低 EC の環境であることが分かる。これらの環境は、冷涼な気候や嫌気環境により微生物の活動が抑制されるために泥炭の形成過程で腐植酸が生じること、一方で植物の分解が進行しないために栄養塩が供給されないこと、ドーム状構造の高層湿原では雨水のみでしか灌水されないために、ヨシ原 (Area1) とは異なり外部の河川などからの無機栄養塩の供給がないことが原因と考えられる。結果的に、さらに微生物の活動が抑制され、酸性化や貧栄養化、泥炭の形成が進行する。

中間湿原にあたるヨシ・ササ原 (Area3) は、産出珪藻種の特徴から腐植型の低栄養から中栄養水域であり、湿原外部からの栄養塩の供給があると考えられる。同様に、低層湿原に

あたるハンノキ林 (Area4) においても、好清水性種と好汚濁性種が同時に産出することから、清水性の湿原に外部からの流入があり、無機栄養塩が供給されていることが推定出来る。その結果、富栄養な環境となり、好酸性から好アルカリ性の様々な珪藻が生息し、多様度指数 H^* も高い値を示す。

2. 古環境変遷

コアサンプルにおける産出珪藻種の特徴から古環境変遷の復元を試みた (図 6)。Zone1 は、真流水性種や海生種、干潟などの潮間帯に生息する珪藻が産出し、好汚濁性種と好清水性種が交じり合うことから、河川の下流域に位置し、海水が混じる干潟などの潮間帯であったと考えられる (澤井, 2007)。その後、汽水から海生種や流水性種が減少し、砂層において上方細粒化が見られることから、河川の流れが低下し、淡水化していったと推定できる。Zone2 では、湿原が形成され、泥炭の堆積が始まった。Zone1 - 2 の変化は、Ta-c (2.5ka) 付近に発生していることから、約 2500 年前とした。この変化の年代は、澤井 (2007) で指摘される約 1700 - 2700 年前の「弥生の小海退」による海水準低下イベントの年代と対応しており、澤井 (2007) で記載されている産出珪藻種の変化も本研究の珪藻分析の結果と一致する。

Zone3 では、高層湿原が発達し乾燥化が進行したため、珪藻が生息できず、珪藻殻がほぼ産出しないと推定される。しかしながら、pH4 以下の強酸性環境では、珪藻殻が溶ける可能性もあり (Serieyssol *et al.*, 2011)、今後、詳細な検討が必要である。

Zone4 - 6 においては、真酸性から好酸性種が約 90% を占めることより、強酸性環境である高層湿原が発達していたと考えられる。Tephra2 下部の Zone4 - 5 での乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数の増加は、湿潤化の傾向を示しており、これは澤井 (2007) で指摘される約 300 - 800 年前の海水準低下イベント後の相対的な海進による可能性があるが、今後、より詳細な調査が必要だろう。その後、乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数は減少傾向を示し、乾燥化が再び進行したことが示唆される。最上部の Zone6 では、Zone4 - 5 と比較し、より現在の高層湿原に生息する珪藻種が多く産出する。また、多様度指数 H' も現在の高層湿原中央部と同様に低く、Zone5 - 6 を境界に現在の高層湿原に近い環境に遷移したことが分かる。この変化の年代は Tephra2 の年代 (AD1667 - AD1739) から約 300 年前とした。この変化は、澤井 (2007) で指摘される約 300 年前の海水準低下イベントの年代と対応しており、それ以降の相対的な海進によって、湿潤化が進行し、現在の環境に至ったと考えられる。

3. 津波堆積物の分布

津波堆積物の特徴として、上方細粒化することや海岸から内陸方向への薄層化に伴って細粒化し分級がよくなることが挙げられる。また、津波堆積物中に産出する珪藻は、淡水生種と海生種が混在することも特徴である。コアサンプル最下部の砂層はよく研磨された砂質で

あり、産出する珪藻は淡水生種と海生種が混在することから、潮流により堆積したと考えられる。しかしながら、本調査地域は内湾奥部に位置しており、海浜砂が堆積するのは難しいだろう。これらのことから、コアサンプル最下部の砂層津波などのイベント性堆積物であると示唆されるが、本研究では1地点のみの分析結果によるものであり、今後、より広域的な議論が不可欠である。

VII. まとめ

- 1) 現生珪藻種の分布は湿原環境をよく反映しており、特に多様度指数は pH と強い相関が認められた。
- 2) 現在の高層湿原は、約 2500 年前の「弥生の小海退」により、潮間帯環境から淡水化し湿原が形成された。その後、高層湿原が形成され、乾燥化が進行した。また、約 300 年前の海水準低下イベント以降に、相対的な海進により湿潤化し、現在の高層湿原に近い環境に遷移した。
- 3) 本調査地域である別寒辺牛湿原北部の高層湿原では、過去に津波堆積物が堆積した可能性が示唆された。

謝辞 本研究を行うにあたり、九州大学理学部地球惑星科学科の鹿島薫先生に指導して頂いた。九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻の石川智氏には、有益なご助言を頂いた。現地調査の際には、厚岸水鳥観察館の澁谷辰生氏に大変お世話になった。以上の方々に、記して感謝の意を表します。

引用文献

- 安藤一男 (1990) 淡水産珪藻による環境指標种群の設定と古環境復元への応用. 東北地理, **42**, 73-88.
- Asada, T. (2001) Distribution of Two Taxa in *Vaccinium oxycoccus sensu lato* (Ericaceae) along Micro-scale Environmental Gradients in Bekanbeushi Peatland, Northern Japan. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, **51**, 169-176.
- 古川竜太・七山太 (2006) 北海道東部太平洋沿岸域における完新世の降下火砕堆積物. 火山, **51**, 351-371.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986) *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2/1. 876 pp. Jena: Gustav fischer.

- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1988) *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2/2. 596 pp. Jena: Gustav fischer.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991a) *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2/3. 576 pp. Jena: Gustav fischer.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991b) *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2/4. 437 pp. Jena: Gustav fischer.
- 小林弘・真山茂樹・長田敬五・出井雅彦・南雲保 (2006) 小林弘珪藻図鑑〈第1巻〉. 531 pp. 内田老鶴圃.
- 森下正明 (1996) 種多様性指数値に対するサンプルの大きさの影響. 日本生態学会誌, **46**, 269-289.
- 町田洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス. 276 pp. 東京大学出版会.
- 野尻湖火山灰グループ (2007) 地学ハンドブックシリーズ 14 新版 火山灰分析の手引き. 56 pp. 地学団体研究会.
- 大垣俊一 (2008) 多様度と類似度, 分類学的新指標. *Argonauta*, **15**, 10-22.
- 大塚泰介 (1998) 何殻を数えるべきか? II. 多様性指数を算出する場合. *Diatom*, **14**, 41-49.
- Sawai, Y. (2001) Episodic Emergence in the Past 3000 Years at the Akkeshi Estuary, Hokkaido, Northern Japan. *Quaternary Research*, **56**, 231-241.
- Sawai, Y. (2004). Transient Uplift After a 17th-Century Earthquake Along the Kuril Subduction Zone. *Science*, **306**, 1918.
- 澤井祐紀 (2007) 珪藻化石群集を用いた海水準変動の復元と千島海溝南部の古地震およびテクトニクス. 第四紀研究, **46**, 363-383.
- 沢井祐紀・三塩和歌子 (1998) 北海道東部厚岸湿原における過去 3,000 年間の海進・海退. 第四紀研究, **37**, 1-12.
- Sawai, Y., Horton, B. P. and Nagumo, T. (2004) The development of a diatom-based transfer function along the Pacific coast of eastern Hokkaido, northern Japan - an aid in paleoseismic studies of the Kuril subduction zone. *Quaternary Science Reviews*, **23**, 2467-2483.
- 澤井祐紀・佐竹健治・七山太・添田雄二 (2004) 北海道東部厚岸町国泰寺跡において検出された津波堆積物の年代. 活断層・古地震研究報告, **4**, 1-7.
- 渡辺仁治・浅井一視・大塚泰介・辻彰洋・伯耆晶子 (2005) 淡水珪藻生態図鑑. 群集解析に基づく汚濁指数 DAIPo, pH 耐性能. 784 pp. 内田老鶴圃.

表1 現生サンプリング試料

Sampling Point	Surface Water	Topsoil	Plants
01	1	0	2
02	1	0	2
03	1	1	1
04	1	1	1
05	1	1	1
06	1	1	1
07	1	1	1
08	1	1	1
09	1	1	1
10	1	0	2
11	1	1	1
Total	11	8	14

表2 現生サンプリング多様度指数

Sampling Point	n	S	H'	H' _{max}	H' _{min}	H*	H* _{max}	H* _{min}
01	3	29.00	3.52	4.38	2.19	3.59	4.46	2.23
02	3	16.67	2.97	3.73	2.25	3.00	3.41	2.27
03	3	17.33	3.17	3.77	2.74	3.21	3.82	2.77
04	3	14.00	2.46	3.11	2.09	2.49	3.14	2.12
05	3	9.33	2.16	2.71	1.83	2.18	2.73	1.84
06	3	15.67	2.48	3.32	1.45	2.51	3.37	1.48
07	3	25.33	3.64	4.24	3.45	3.68	3.84	3.49
08	3	30.00	3.46	4.58	2.07	3.51	4.66	2.10
09	3	23.33	2.75	4.37	1.45	2.80	4.44	1.48
10	3	28.00	4.04	4.65	3.41	4.11	4.71	3.45
11	3	32.33	3.54	4.49	2.41	3.60	4.57	2.45

n = number of samples

S = mean species numbers

H' = mean, maximum and minimum of the Shannon Diversity Index

H* = mean, maximum and minimum of the unbiased estimator calculated by Morishita (1996)

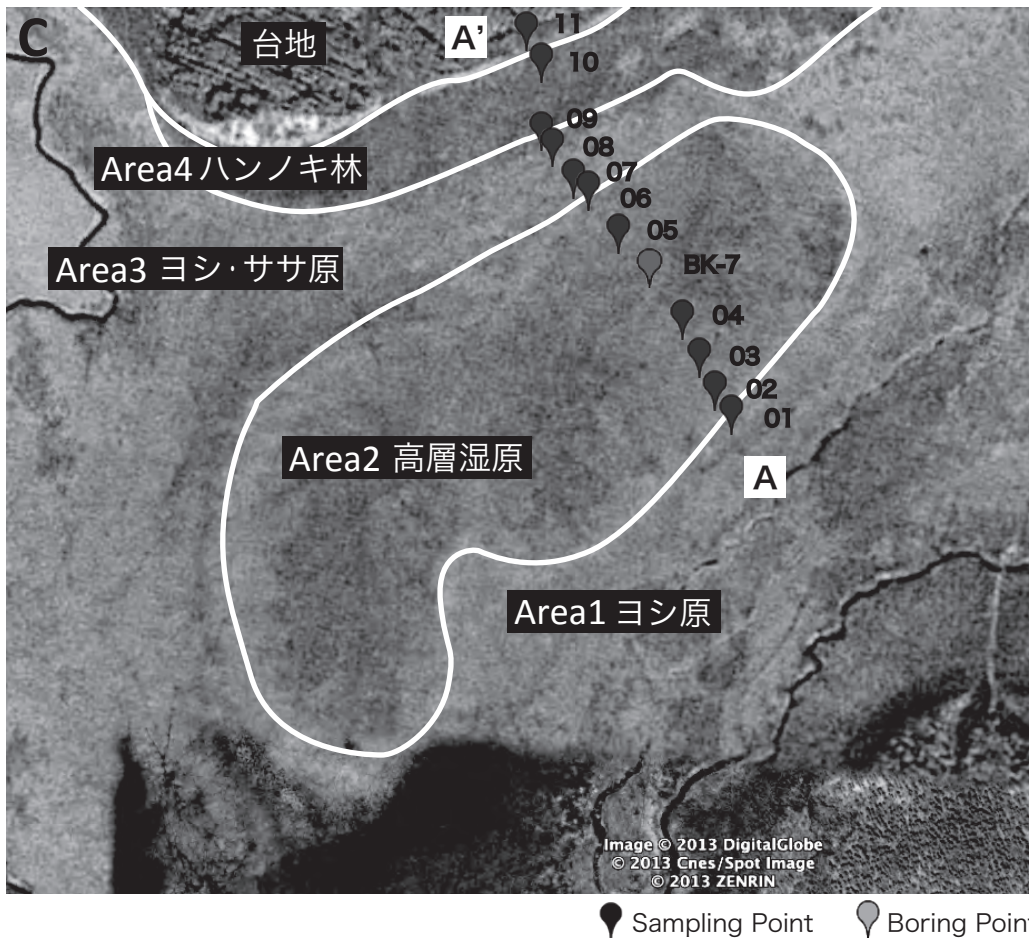
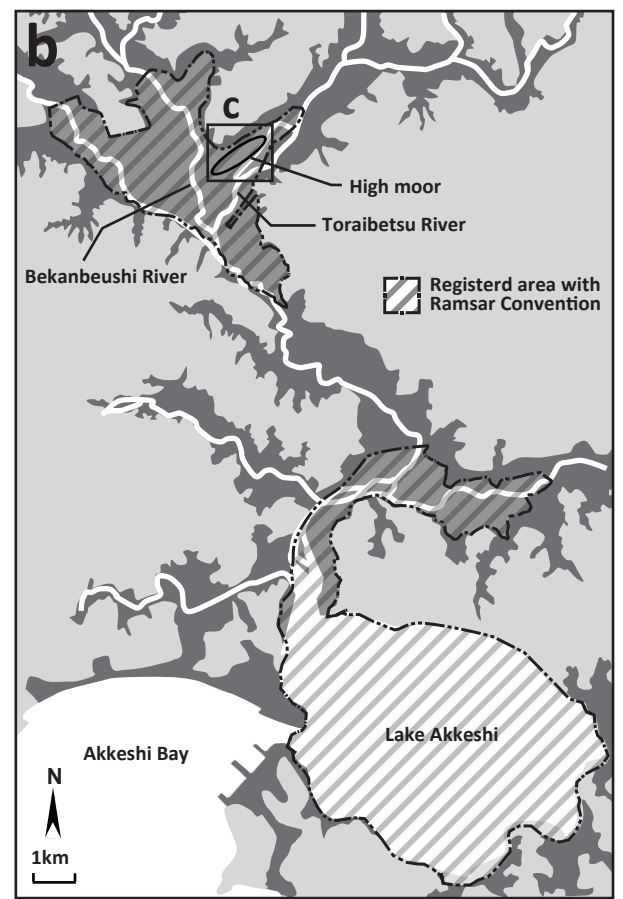
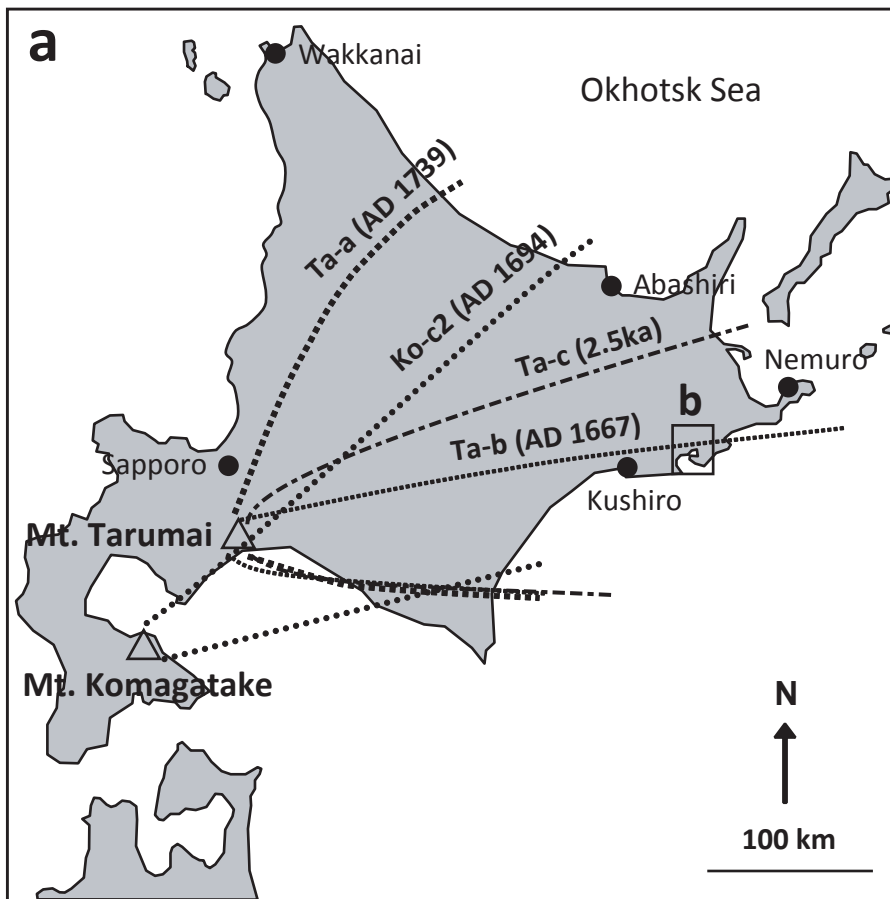


図1 調査地域：

- (a) 北海道全域、古川・七山（2006）による別寒辺牛湿原に降下した可能性のある火山灰の降下域を示す。
 (b) 別寒辺牛湿原全域、ラムサール条約登録湿地を示す。
 (c) 別寒辺牛湿原の高層湿原周辺、現生サンプリング及びコアサンプルのポイント・植生を示す。

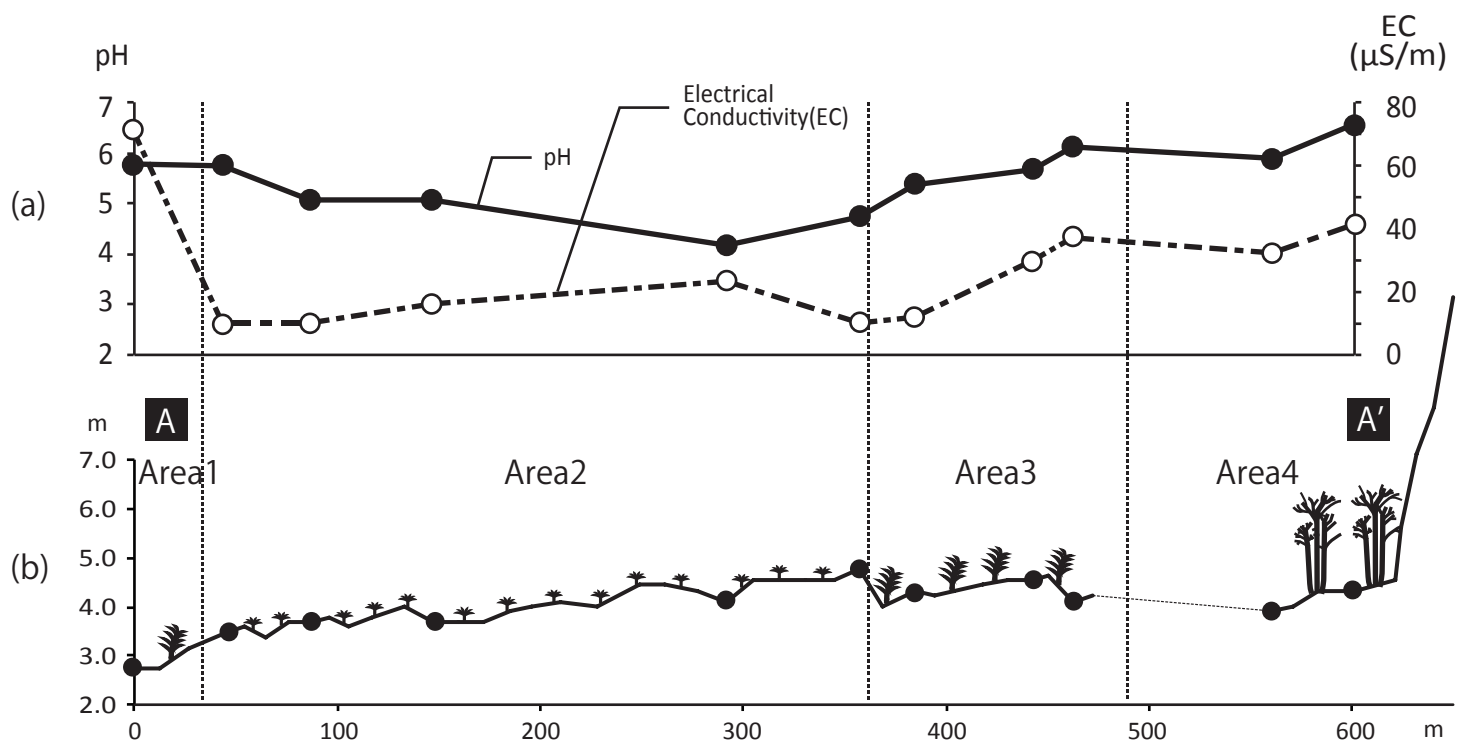


図 2 調査地の水質及び地形：

(a) 現生サンプリングポイントにおける pH と電気伝導度 (EC)

(b) 標高及び起点からの距離

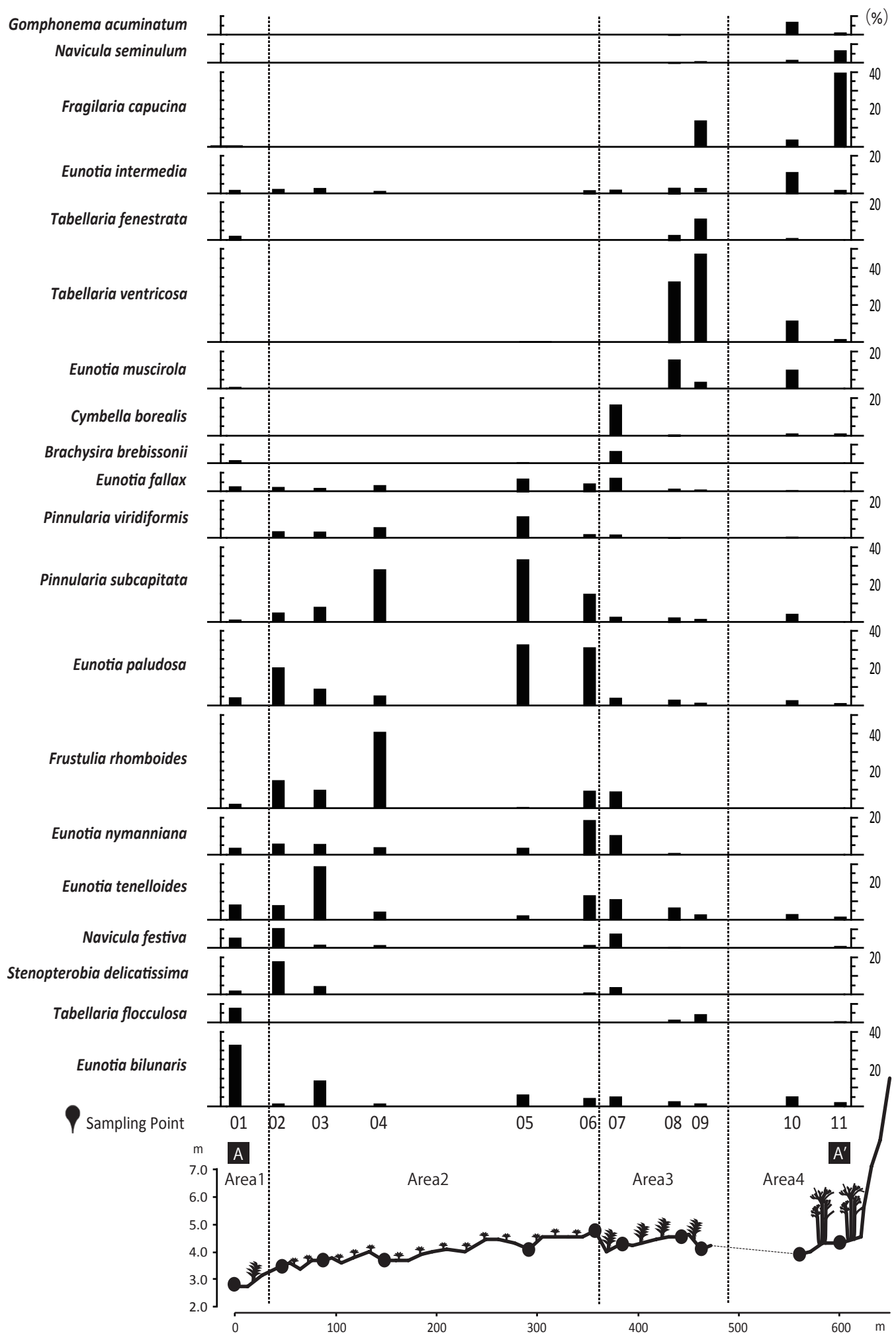


図3 現生珪藻の分布

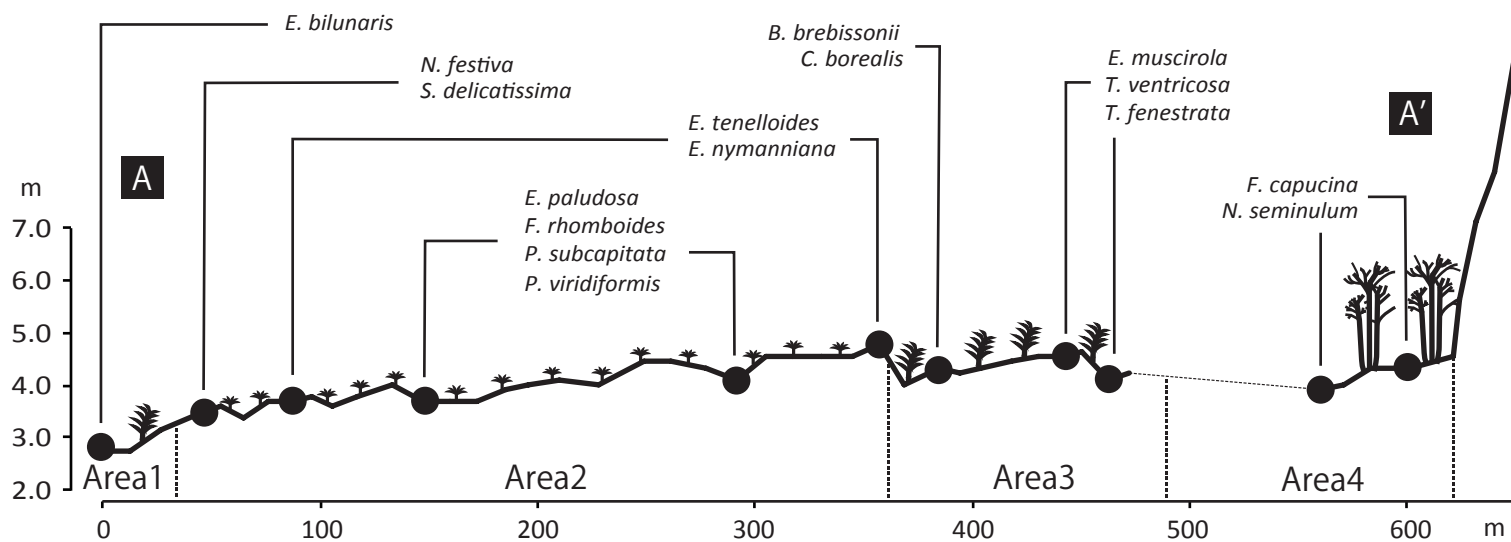


図4 現生サンプリングポイントにおける特徴種の分布

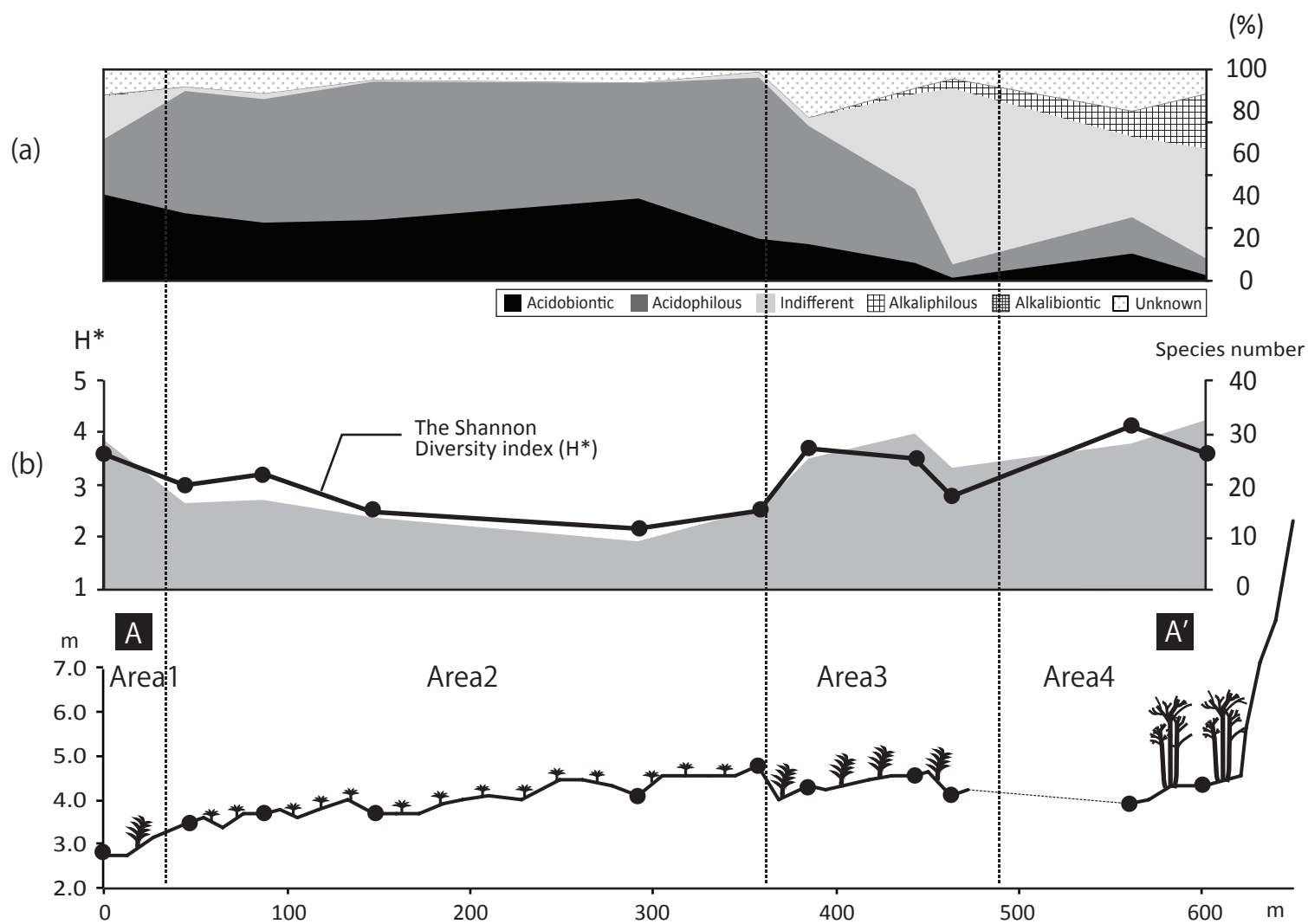


図5 現生サンプルにおける多様性と pH 傾向
 (a) 産出珪藻種の pH 傾向を判例に従って区分し、その割合を示す。
 (b) 産出する珪藻種数と多様度指数 H^*

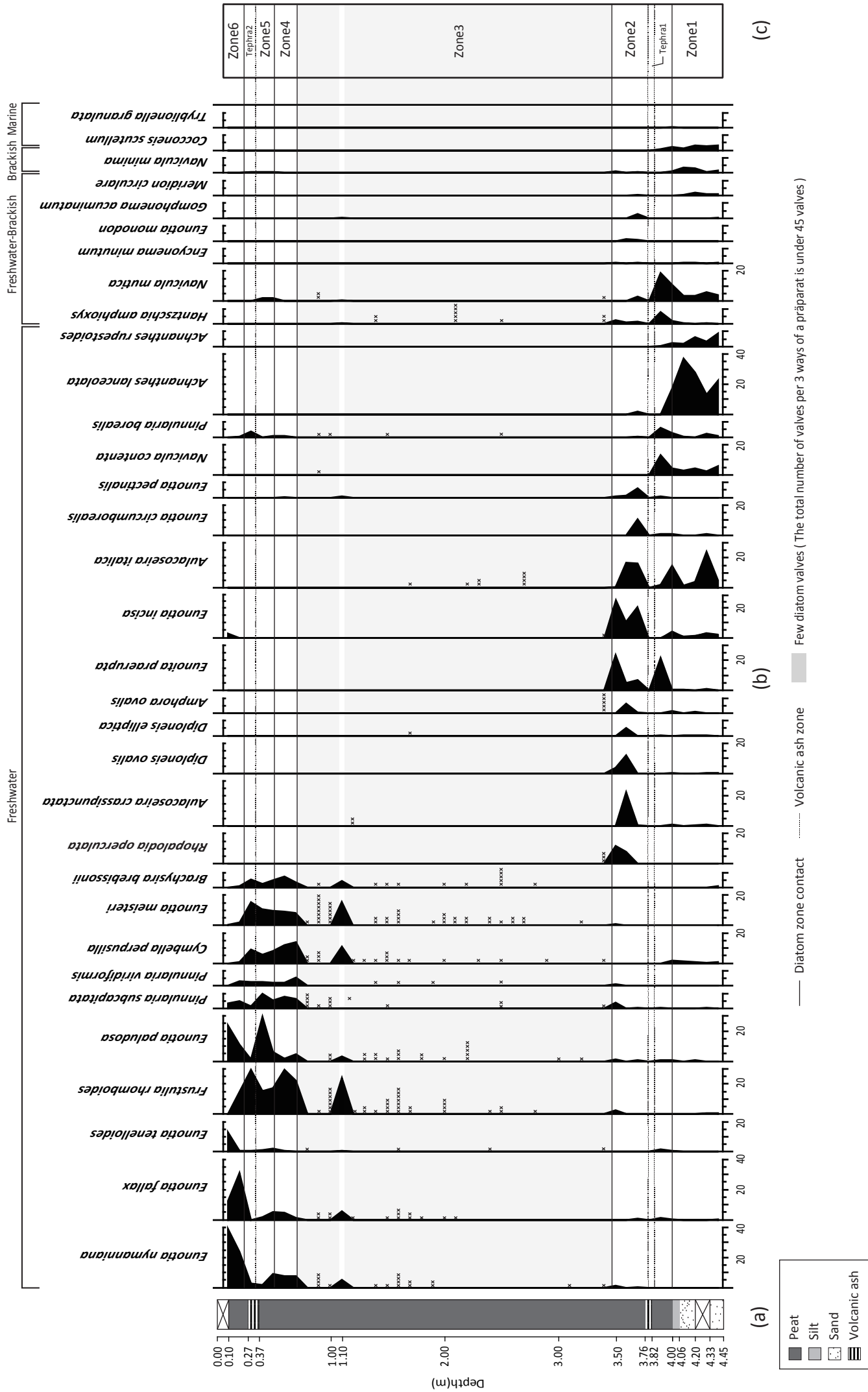


図 6 コアサンプルにおける産出珪藻化石の種の構成比の変化及び区分

(a) コアサンプルの層相 (b) 産出珪藻化石の種の構成比の変化 (c) 種の構成比による区分

※プレパラートを 1.5 往復 (22mm×3) 検鏡した際の珪藻殻数が合計 45 個体以下の場合、実際のカウント数を × で示している。

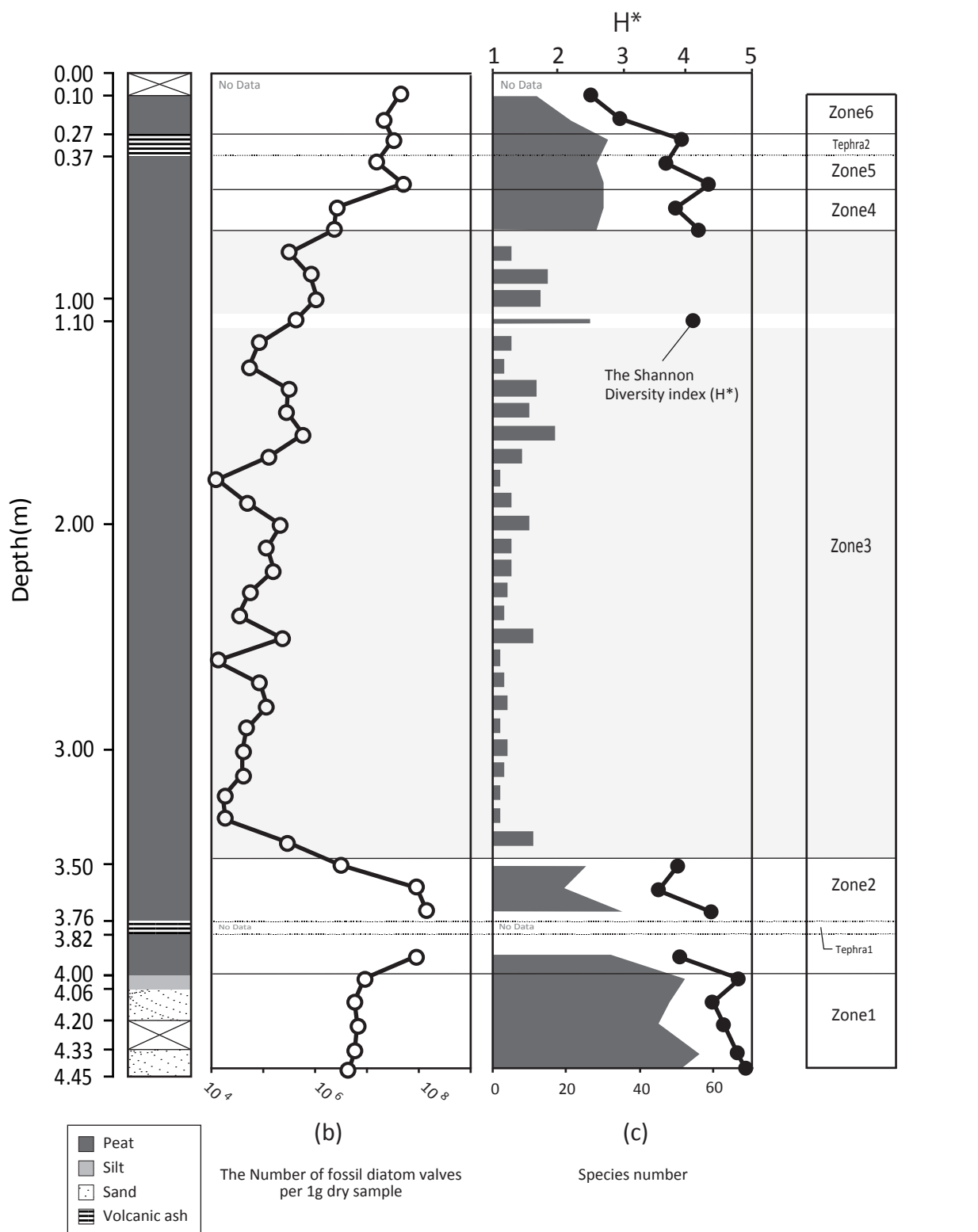


図7 コアサンプルにおける乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数及び多様性

(a) 乾燥試料 1g あたりの珪藻殻数

(b) 産出する珪藻種数と多様度指数 H^*

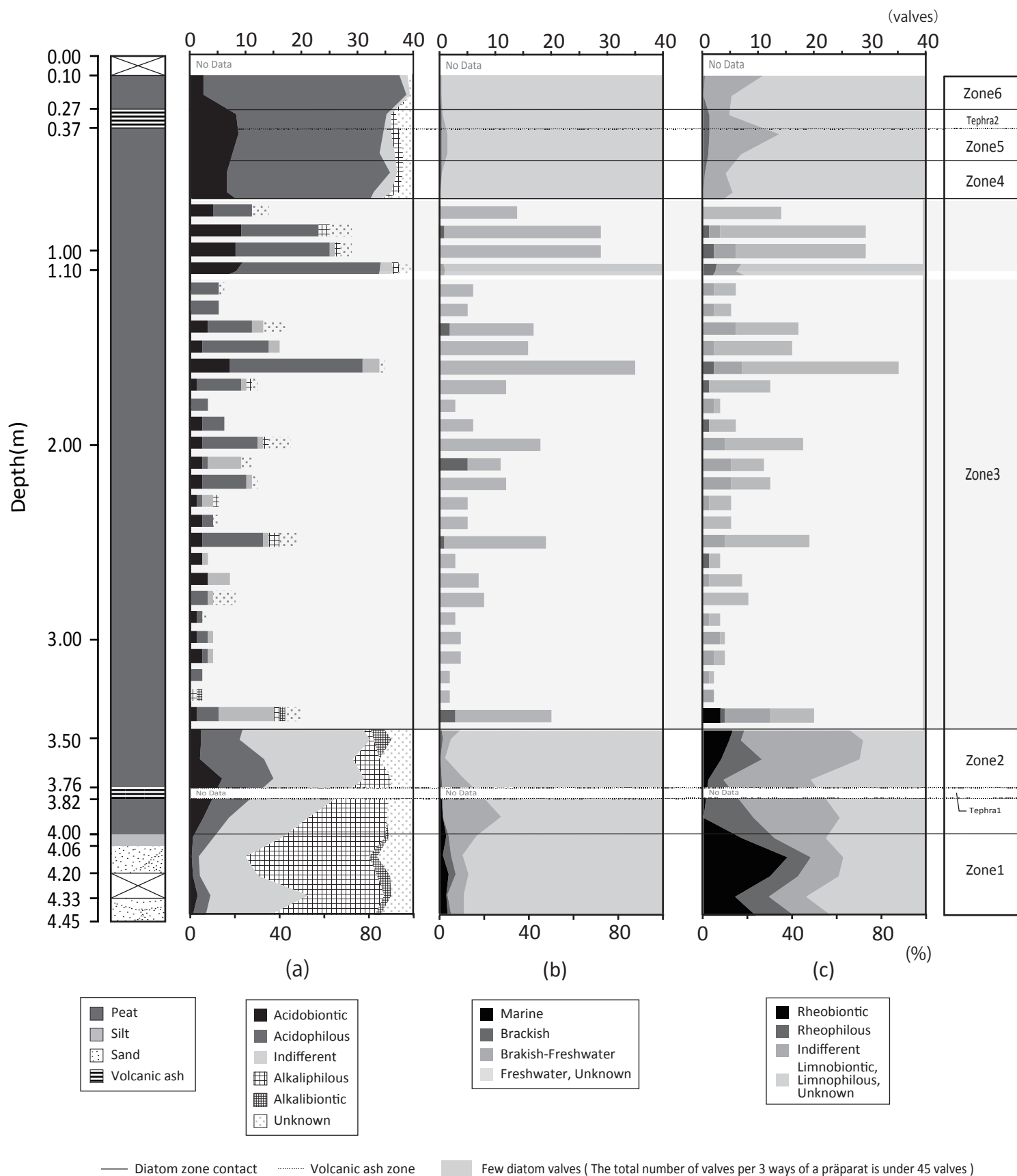
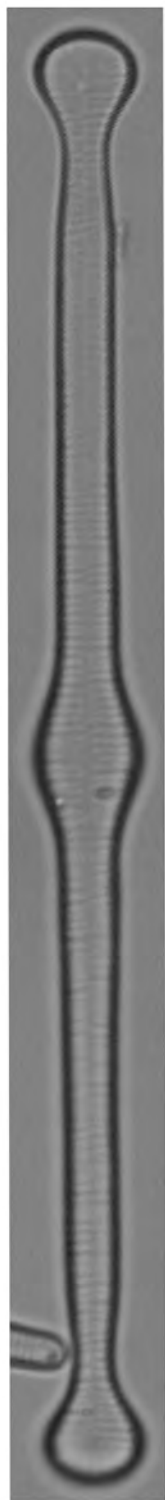


図8 コアサンプルにおける産出珪藻種の傾向

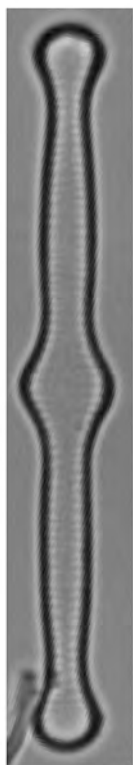
(a) 真酸性, 好酸性, 中性, 好アルカリ性, 真アルカリ性に区分した割合を示す。

(b) 海生, 汽水生, 汽水～淡水生, 淡水生に区分した割合を示す。

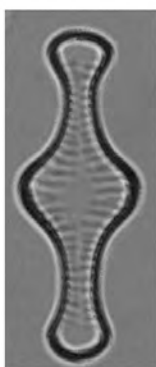
(c) 真流水性, 好流水性, 広適応性, その他に区分した割合を示す。



1



2



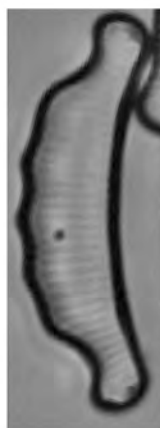
3



4



5



6



7



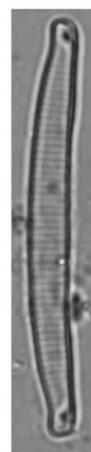
8



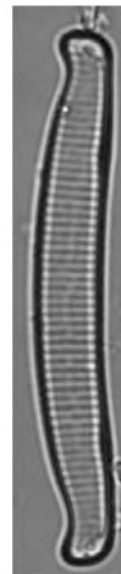
9



10



11



12



13

現生珪藻 1

1. *Tabellaria fenestrata*

2. *Tabellaria flocculosa*

3. *Tabellaria ventricosa*

4, 5. *Fragilaria capucina*

6, 7. *Eunotia muscirola*

8. *Eunotia intermedia*

9. *Eunotia tenelloides*

10. *Eunotia bilunaris*

11. *Eunotia paludosa*

12. *Eunotia nymanniana*

13. *Eunotia fallax*

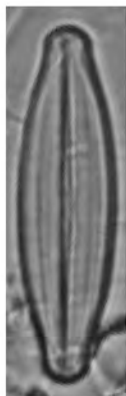




1



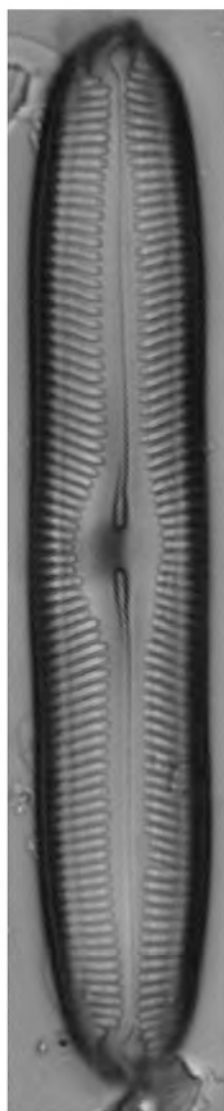
2



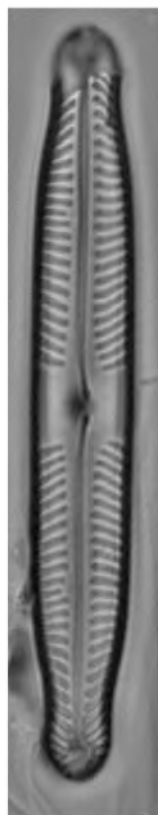
3



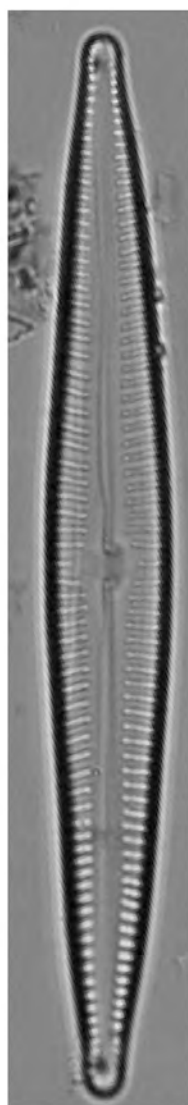
4



5



6



7



8



9

現生珪藻 2

1. *Frustulia rhomboides*

2. *Brachysira brebissonii*

3. *Navicula festiva*

4. *Navicula seminulum*

5. *Pinnularia viridiformis*

6. *Pinnularia subcapitata*

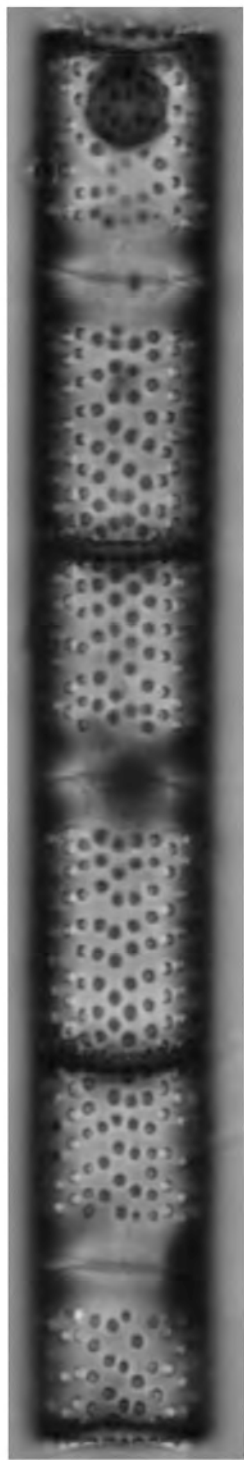
7. *Cymbella borealis*

8. *Gomphonema acuminatum*

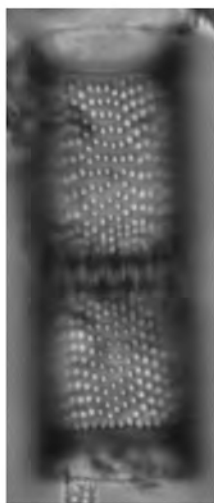
9. *Stenopterobia delicatissima*



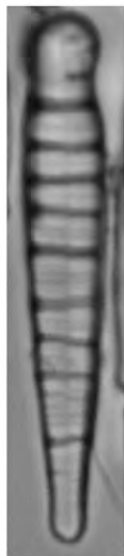
10μm



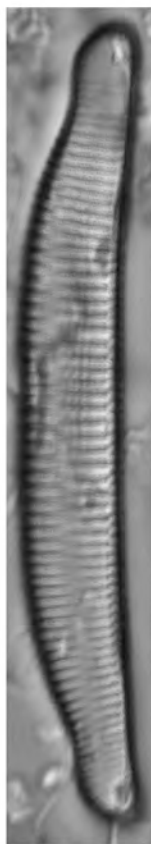
1



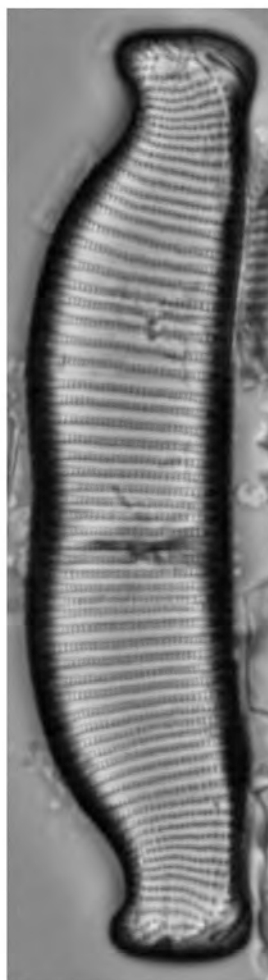
2



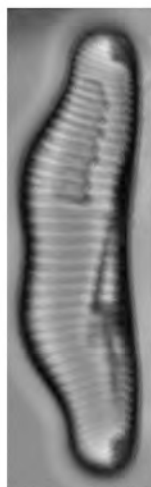
3



4



5



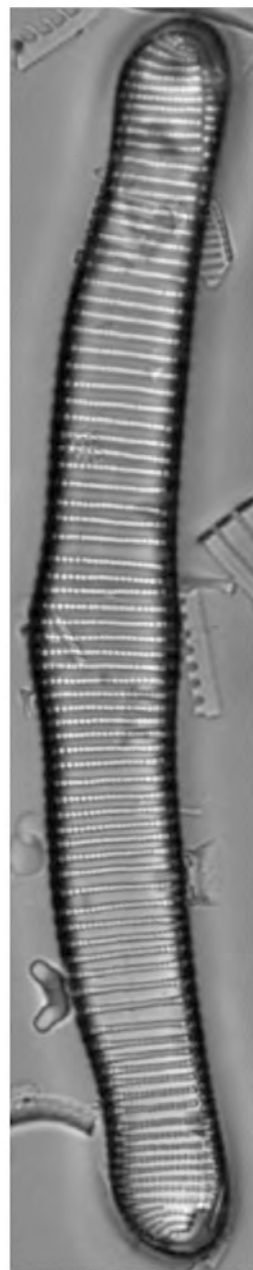
6



7



8



9

コアBK-7 化石珪藻 1

1. *Aulacoseira crassipunctata**

2. *Aulacoseira italica*

3. *Meridion circulare**

4. *Eunotia pectinalis*

5. *Eunoita praerupta*

6. *Eunotia circumborealis*

7. *Eunotia incisa*

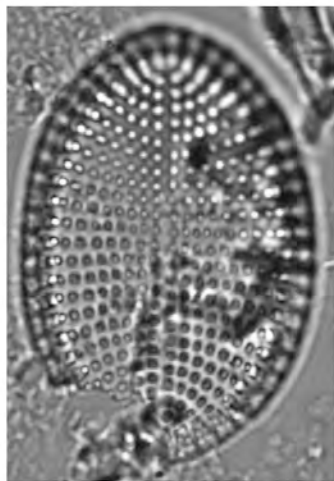
8. *Eunotia meisteri**

9. *Eunotia monodon*

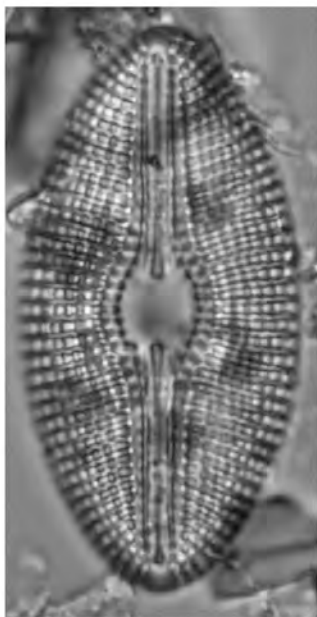
* 現生珪藻写真



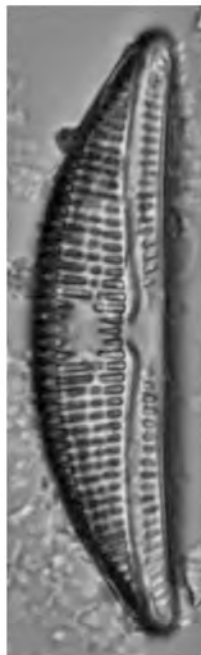
10μm



1



4



10



11



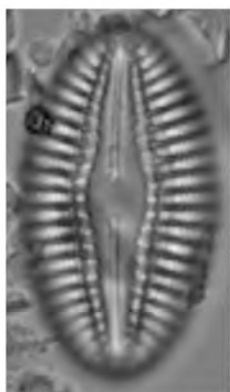
12



2



3



5



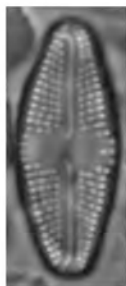
9



13



14



6



7



8



15

コアBK-7 化石珪藻 2

1. *Cocconeis scutellum*

2. *Achnanthes lanceolata*

3. *Achnanthes rupestroides*

4. *Diploneis ovalis*

5. *Diploneis elliptica*

6. *Navicula mutica*

7. *Navicula contenta*

8. *Navicula minima*

9. *Pinnularia borealis*

10. *Amphora ovalis*

11. *Encyonema minutum**

12. *Cymbella perpusilla*

13. *Hantzschia amphioxys*

14. *Rhopalodia operculata*

15. *Tryblionella granulata*

* 現生珪藻写真

