

福井県北潟湖堆積物の花粉分析と CNS 元素分析からみた環境変遷と人間活動

北川淳子^{1*}・吉田明弘²・篠塚良嗣³・長谷部徳子⁴

The interaction between human activities and environmental change in Lake Kitagata area, Fukui Prefecture revealed by pollen analysis and CNS element analysis

Junko Kitagawa^{1*}, Akihiro Yoshida², Yoshitsugu Shinozuka³, and Noriko Hasebe⁴

Abstract: Brackish water regions provide a wide variety of environments and high biodiversity. Therefore, these regions have experienced high human activity since ancient times. Coastal environments have been changed by both nature and the human activities. Today, human activities have often caused problems, e.g. deterioration of water quality or degradation of the ecosystem. Understanding the history of interactions between human activities and the natural environment is a crucial first step for establishment of countermeasures against environmental problems. The interactions between nature and human activities around Lake Kitagata, Hokuriku district, Japan were investigated using pollen analysis and CNS elemental analysis as an example of environmental change in a brackish water region.

Lake Kitagata is a brackish lake and is connected to Daishoji river; it flows into the sea at the border between Fukui and Ishikawa prefectures. Human activities have been high at this location since ancient times and it is well known that the environment has been greatly modified during historical times.

¹ 福井県年縞博物館・Varve Museum, 122-12-1 Torihama, Wakasa-cho, Mikatakaminaka-gun, Fukui 919-1331, Japan.

² 鹿児島大学法文学部・Faculty of Law, Economics and Humanities, Kagoshima University, 1-21-30 Korimoto, Kagoshima, 890-0065 Japan.

³ 立命館大学グローバルイノベーション研究機構・R-GIRO, Ritsumeikan University 56-1 Kitamachi, Tojiin, Kita-ku, Kyoto 603-8577, Japan.

⁴ 金沢大学 環日本海域環境研究センター・Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa 920-1192, Japan.

* Corresponding Author

受付日：2021年9月23日，受理日：2022年2月7日，WEB掲載日：2022年3月31日

Salt making has been a primary cause of deforestation in this area from the Nara to Heian periods (the 8th -9th century AD). In addition, land transformation to arable fields took place in the Heian Period (from the 11th century AD) based on pollen analysis. Arboreal pollen decreased significantly during these times. During the period when the salt making furnaces were used, based on C/S ratio, lake water was not suitable for salt making because the lake was fresh. At this time the fresh-water lake seemed to contribute to local rice cultivation, but the lake water soon became brackish, based on C/S ratio. In consequence, rice cultivation was reduced in the area, and buckwheat started to be cultivated in the 14th century AD. The land was deforested further, and it seems that the area supported only scattered trees. In the early Edo Period (the 17 century), pine trees were probably planted near the lake, as seen in the appearance and increase of *Pinus* pollen. Construction work in the Daishoji River basin during the Edo period increased the C/N ratio of lake water. The construction of the Kaiden bridge in the 19th century did not strongly affect the lake based on C/N and C/S ratios, although it was reported that it damaged oyster cultivation. Natural disasters did not have a long-lasting influence on the environment of Lake Kitagata, but they did affect regional vegetation for short time intervals

Key words: Lake Kitagata, Pollen analysis, CNS element analysis, vegetation change, salinity of lake

はじめに

汽水域は満潮時の潮の遡上などで、塩分による直接的・間接的な効果により生物に多様な生息・生育環境を提供する(宮本, 2004)。季節的な塩濃度の変化もみられ、汽水性魚類に加え、淡水魚、海産魚類、遡河回遊性魚類なども見られ、有用な漁場となる(本多ほか, 1997)。そのため、縄文時代の貝塚等も多く発見されるように、古来、人間活動が活発であった。海に近く、物流の重要な拠点にもなり、古くから港も築かれてきた。その反面、塩害を受けやすい土地であることから水田農業には適さず、また、高潮や津波などの影響を受けやすい場所である。そのため、農業のためには干拓や潮止のための構造物の建設、物流のためには港が築かれるなど、人為的な改変が行われてきた。このように、汽水域では人間活動が活発であり、その環境は自然と人間活動の相互作用により変化する。現在、汽水域は人間活動により、アオコ・青潮・異臭等の水質の課題、漁獲量の低下、生態系の変化など、多くの問題を抱えている(環境省水・大気環境局水環境課, 2014)。これらは、過去から現在までの人間活動と自然との相互作用の結果であり、その歴史を明らかにすることは、汽水湖水環境の保全や対策などの取組を行うときの参考資料となる。

歴史記録のない時代や場所の環境変遷を調べるのに有効な試料の一つとして湖沼堆積物があげら

れる。湖沼堆積物には環境を反映している様々な粒子が含まれ、環境変遷を記録している(Beer and Strum, 1995; Fukusawa, 1999)。その中の花粉を調べることで周辺植生の変遷を復元でき、CNS元素分析では湖の水環境の変遷を復元できる。また、含まれる炭片は野焼きや焼き畑などの人間活動により増加することが知られている(Tsukada et al., 1986; 坂口, 1987; 山野井, 1996; 井上ほか, 2001)。本研究では、福井県と石川県の堺に位置する北潟湖を例に、花粉分析とCNS元素分析、堆積物中に含まれる炭片の量の変遷をもとに汽水域の環境変遷と人間活動の関係を明らかにする。

調査地の概要

北潟湖は福井県と石川県との県境に位置する汽水湖である。面積は2.16 km²で、湖口は二級河川大聖寺川の河口部につながる(図1)。湖水面は海面との差が小さく、海水が容易に流入する(木村ほか, 2009)。湖は北東から南西へ細長く、全長は約6 kmあり、湖の複数個所で幅が極端に狭くなっている(図1)。北潟湖の最大水深は3.7 mで開田橋水門の上流側にあるが、他の大部分の箇所では、水深2.5~3 mで、湖の中央部はほぼ平らである(木村ほか, 2009)。湖の西には数万年前に堆積した30~40 mの砂丘があり(廣内, 2003)、それにより湖は海から隔てられている。南東方向には水田が広がる。

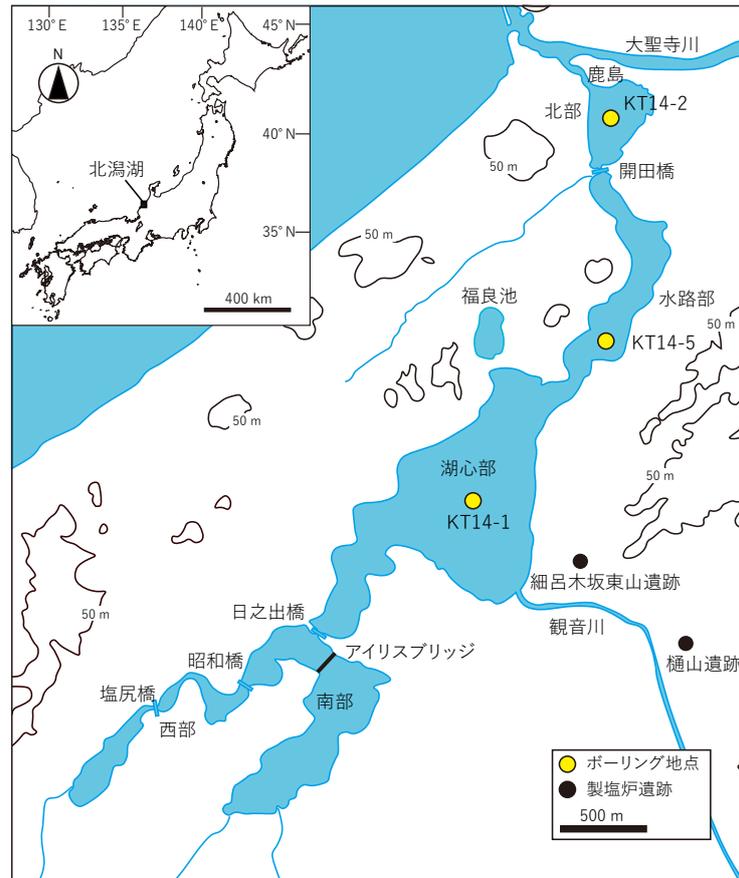


図1 北潟湖と周辺地図. 国土地理院 25000 分の 1 地形図「北潟」をもとに作成した.

Fig. 1 Map of Lake Kitagata and surrounding area. Base map was modified from the map Kitagata, scale 1:25,000, issued by the Geospatial Information Authority of Japan.

周辺には古代から中世の遺跡が多く分布し、製塩の遺跡も見つかっている(福井県教育委員会, 1993; 赤澤, 2020a, b). その中で細呂木坂東山遺跡(図1, 2)は湖心の東側に位置し、石敷きの製塩炉が発見されている(赤澤, 2020a). 明確に伴う遺物が発見されなかったため年代は確定できないが、古墳時代から奈良・平安時代にかけての遺跡である(赤澤, 2020a). 細呂木坂東山遺跡の発掘時、8世紀から9世紀と考えられる層は炭で黒くなっていた(図3). この時代に炉は利用されていたと考えられる. また、細呂木坂東山遺跡より東に1.2 kmの内陸に位置する樋山遺跡(奈良~平安時代, 図1, 2)でも石敷きの製塩炉が発見されている(赤澤, 2020b). 付近には関所跡もあり、交通の要所であったと推測できる. 両遺跡とも、海からの距離や現在の北潟湖の塩分濃度から考えると製塩に効率のよい海水が得られ

る場所ではない. 香月ほか(2021)の調査結果によると、最も近い湖心部分では、船を出さずに採水できると考えられる水深1 m付近まででは14PSUで、海水の塩濃度の半分以下となる. 最も塩濃度の高い湖底付近でも25PSUで海水の濃度には及ばない. 赤澤(2020b)は、出土する土器も小型であることと、両遺跡付近には古代北陸道が通っていたと推定できることから、生産された塩を運搬するための焼き塩をしていた遺跡ではないか、という仮説をたてている. しかし、湖の地形や環境は古代から変遷していることが推測できるため、当時は湖の塩分濃度が塩を作るのに十分高かった可能性は否定できない.

湖の環境は湖や周辺の人為的改変によって大きく変化している. 細呂木坂東山遺跡や樋山遺跡の時代がどうであったかは不明であるが、河口部の地形は18世紀以前は異なっていたことがわかっている.

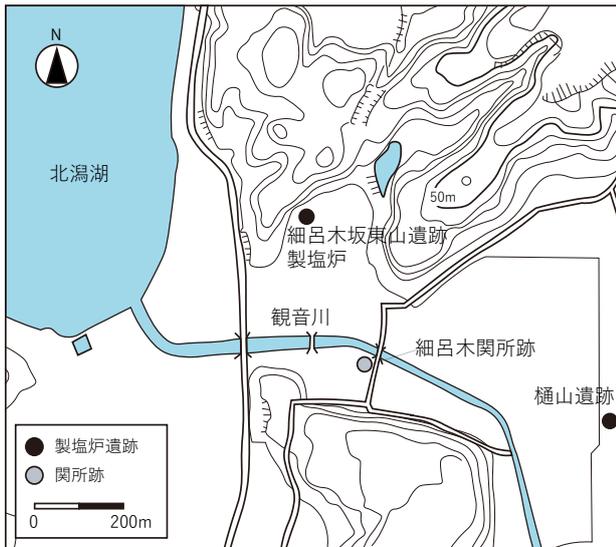


図2 北潟湖畔の製塩炉のあった遺跡位置. 国土地理院 25000 分の 1 地形図「北潟」をもとに作成した。
Fig. 2 Locations of salt furnaces near Lake Kitagata. Base map as in Figure 1.

まず、河口部に位置する鹿島は島であったことが寛永5年(1628年)の吉崎浦絵図で確認できる(金井, 1984)。その後の詳細は不明であるが、1688年ごろから加賀藩が大聖寺川流域で土木工事を始めたため、1713年ごろ砂州の発達により陸続きとなった(芦原町史編纂委員会, 1973; 北潟歴史探訪の会, 2017)と言われ、昭和44年(1969年)に測量された2万5000分の1地形図「大聖寺」では陸続きとなっている。また、11世紀末から12世紀には河口庄で大規模な荘園開発があった(小辻, 1980; 神田, 1985; 清田, 1993)。河口庄では1110年、600ヘクタールの水田が奈良興福寺に寄進されている(小辻, 1980; 神田, 1985)。明治時代には新田開発のため開田橋が造られた。

吉崎浦絵地図では北潟湖の湖心までカキの筏が描かれているため、江戸時代にはカキの養殖がされていたことがわかっている。しかし、明治時代の開田橋建設以降、塩濃度が低下し養殖がされなくなったと言われている(芦原町史編纂委員会, 1973; 北潟歴史探訪の会, 2017)。

自然災害も無縁ではない。「芦原町史」(芦原町史編纂委員会, 1973)によると、江戸時代には地震や洪水、大雪などの多くの災害が起こり、18世紀初頭には暴風や塩害で不作が続いた。そのため、1712年に年貢の減免を求めて大聖寺一揆が起こった(吉



図3 細呂木阪東山遺跡2区東壁の8～9世紀の黒い層。
Fig. 3 Black layer of the east section in the 2nd survey area of the Hosorogi-Bandoyama site.

武, 1987)。また、『兼見卿記』によると、天正の津波は越前にも到達しているが(外岡, 2012)、地震や津波の被害についてはよく知られていない。

現在、周辺はシイやタブが多く見られ、石川県側の鹿島のシイ・タブ林は国指定天然記念物に指定されている。しかし、江沼志稿拾遺の記述によると、江戸中期には海岸沿いは植生がなく、砂が飛来して耕作地や集落を埋めたという(石川縣, 1940)。現在、湖の東側では水田が発達していると同時にソバの栽培も活発である。ソバの栽培は、15世紀、朝倉孝景がソバの収穫までの期間が短いことに注目し、合戦の合間に栽培していたことや、1601年に府中の領主となった本多富正が救荒食として普及したことが始まりと言われている(中山, 1991)。

北潟湖では自然と人の影響が歴史的に絡まりあって現在の状況となっていると考えられるが、細呂木阪東山遺跡や樋山遺跡の製塩炉が利用されていた時代やその後の開発で北潟湖の環境がどのように変化したか、周辺の植生の影響などは歴史記録にはない。

試料と方法

湖底堆積物の採取

2014年12月にロシア式ピートサンプラーを使い北部(KT14-2)と水路部(KT14-5)、湖心部(KT14-1)の3地点でボーリング調査を行った(図1)。1回の採泥で50cm採取し、少し離れた位置で深度を10cmずつ重複させて連続したコアを採取した。採取したのち、採取深度と層相により、コアをつなぎ合わせた。KT14-2は410cm、KT14-5は480cm、

KT14-1は460cm採取し分析した。層相は図4に示す。

KT14-1コアはシルト質で、コア深度約120cmから170cmと約200cmから270cmに多数の貝片が含まれ、350cmより下層部分で、葉理のみられる部分があった。KT14-2コアはシルトまたは粘土質で、420cmより下層部分で葉理のみられる層があった。コア深度325cmにはカバザクラ (*Nitidotellina cf. iridella*) の貝殻が見つかった。この貝は潮間帯から水深30mの細砂底に生息する種である。KT14-5コアはシルト質で、砂が混じる層が挟まっていた。また、コア深度50cmから125cmと180cmから240cmで貝片が多く混じっていた。深度約80cm付近にはカキの貝殻の密集層があった。深度約360cmより下層で葉理のみられる層があった。

放射性炭素年代測定

KT14-2の2点、KT14-5の4点、KT14-1の3点について放射性炭素年代測定をパレオ・ラボおよび加速器分析研究所に依頼し行った。測定結果はCalib8.2 (Stuiver et al., 2021) を利用して、植物片についてはIntCal20 (Reimer et al., 2020) で校正した。貝は主に海に生息する種であるため、海水のリザーバ効果と同等と考えMarine20 (Heaton et al., 2020) で校正した。その際必要となる ΔR は14CHRONO Marine20 Reservoir Database (Reimer and Reimer, 2001) で最適の地点を探し、 -99 ± 30 (Kuzmin et al., 2001) を用いた。測定試料の詳細は表1に示す。結果に従い、校正年代の中央値、もしくは確率の高い年代値を用いて年代モデルを構築し、年代推定を行った。

花粉分析

コアをLLチャンネル (Nakagawa et al., 2014) で採取し、1cm刻みにサブサンプリングを行った。その中のKT14-2については34サンプル、KT14-5については22サンプル、KT14-1については87サンプルの分析を行った。その際、花粉の堆積量を推定するため、日本に自生しないヒマラヤスギ花粉を約19000個加えた。花粉の抽出はNakagawa et al. (1998) の方法で、塩化亜鉛による重液分離で行った。その後、アセトリシス液 (体積比で無水酢酸9:硫酸1) 処理をした。抽出された花粉は、グリセリンゼリーに封入し、400倍の光学顕微鏡 (Nikon BIOPHOTO) を利用し、各サンプルにおける木本花粉をできる限り500以上観察・同定した。

花粉の出現率は湿地性・水生の植物を除く植物の花粉の総数を基数として計算した。年代モデルから1年あたりの堆積深度を計算し、LLチャンネルの断面を1.155cm²として、1cm²あたりの1年間の花粉の堆積量を推定した。

また、人間の燃料としての樹木の利用状況変化の目安として、炭片の計数も同時に行った。長径が5 μ m以上のはっきり確認できるものについて計数し、花粉と同様に堆積量を推定した。

CNS 元素分析

分析試料は、めのう乳ばちを用いて粒径が約10 μ m以下となるように粉碎した後、恒温槽内で105°C一昼夜乾燥させ、粉末試料とした。CNS (全有機炭素、全窒素、全硫黄) 濃度の測定は、粉末試料約15mgを精秤し、銀コンテナに入れ、その後、貝殻起源の無機態炭素を取り除く為に、1M HCl添加後100°Cで過熱乾燥した後、錫コンテナで包み、元素分析装置 (サーモフィッシャーサイエンティフィック社製FLASH2000) を用いて燃焼法で測定した。

結果

放射性炭素年代測定

年代測定の結果を表1と図4に示す。KT14-1とKT14-5は約6世紀から、KT14-2は約14世紀からの堆積物であると推定された。KT14-2の2点とKT14-1-2-404では校正年代の中央値 (図4:○) は確率分布の低い年代値であるため、確率の最も高い部分 (図4:△) を利用し、年代推定を行った (図4)。コア深度の浅い部分の結果は2 σ の範囲が広く、また、KT14-1の1サンプルとKT14-5の1サンプルについては2 σ の範囲が1950年より新しい時代にまで及んでいた。そのため、中央値は1950年を上限として暫定的に計算した。堆積速度を計算すると、KT14-1は平均約3.1mm/年、KT14-2は平均約7.6mm/年、KT14-5は平均約2.7mm/年であった。

花粉分析

KT14-1

花粉分析の結果を図5に示す。花粉の出現率と堆積量により5つの局地花粉帯 (KT1-I ~ V) を設定した。KT1-IVはさらに2つの亜帯 (KT1-IVa, KT1-IVb) に分けた。

局地花粉帯KT1-V (~約390cm): 草本花粉、シダ胞子はほとんど出現せず、木本花粉が90%を占

表 1 北潟湖コア年代測定試料と結果.

Table 1 The results and samples for radiocarbon analysis of the sediment core from Lake Kitagata.

サンプル	深度 (cm)	試料	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C 年代 (yr BP $\pm 1\sigma$)	較正年代 (2 σ) (cal AD)	Lab. code
KT14-1-						
2-155	155-156	貝* (種不明)	-3.86 ± 0.05	664 ± 24	1555-1899	IAAA-12811
2-311	311	木片	-25.99 ± 0.38	860 ± 20	1158-1252	IAAA-150461
2-404	404.5-405.5	植物片	-30.30 ± 0.50	1255 ± 24	673-872	IAAA-152815
KT14-2-						
228	228	木片	-28.97 ± 0.54	228 ± 23	1640-1950	IAAA-150463
10-37	396.8-397.4	植物片	-32.04 ± 0.11	288 ± 18	1527-1656	PLD-33820
KT14-5-						
78	78-81	貝* (カキ)	-0.30 ± 0.03	562 ± 24	1697-1950	IAAA-152814
196	196-199	貝* (フネガイ)	-1.13 ± 0.17	903 ± 18	1403-1653	PLD-30145
220	220	貝* (アサリ)	-0.32 ± 0.16	1026 ± 18	1290-1509	PLD-30146
393	393	葉	-38.8 ± 0.18	1479 ± 32	550-644	PLD-30147

*Marin20 で較正をおこなった.

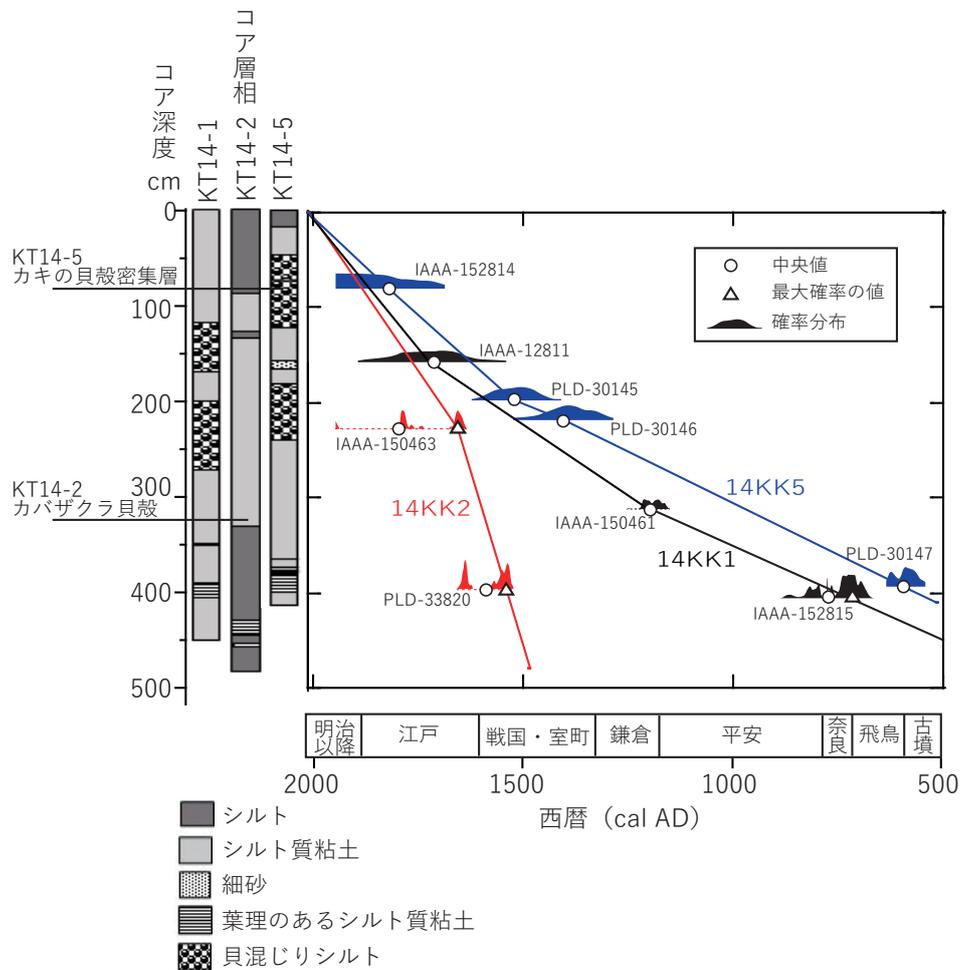


図 4 北潟湖コア (KT14-1, KT14-2, KT14-5 コア) の堆積物の層相と年代モデル

Fig. 4 Lithology and the age-depth models of KT14-1, KT14-2, and KT14-5 from Lake Kitagata.

める。コナラ亜属 (*Quercus* subgen. *Lepidobalanus*), アカガシ亜属 (*Q.* subgen. *Cyclobalanopsis*), シイ属 / クリ属 (*Castanopsis/Castanea*) の出現率が高い。その他、ブナ (*Fagus crenata*) やハンノキ属 (*Alnus*) の出現率も高くなっている。炭片の堆積量は他の花粉帯と同程度であった。

局地花粉帯 KT1-IVa (約 390 ~ 340 cm) : 木本花粉の出現率が低下し、70 ~ 80% になる。特に前の局地花粉帯との境界付近の時代に減少が大きい。出現率では *Castanopsis/Castanea* の出現率の減少が目立ち、花粉堆積量ではすべての木本花粉が急減する。局地花粉帯 V と IV の境界あたり (約 390cm) では、急激に低下し、その後、徐々に増加するが、堆積量では局地花粉帯 V の量まで戻らない。草本花粉とシダ胞子は出現率では増加しているが、堆積量に大きな変化はない。

局地花粉帯 KT1-IVb (約 340 ~ 280 cm) : 木本花粉の出現率がさらに減少するが堆積量に大きな変化はない。草本花粉とシダ胞子については出現率と堆積量ともに増加が認められた。木本花粉の出現率の減少は主にイネ科 (*Poaceae*) の増加による。

局地花粉帯 KT1-III (約 280 ~ 150 cm) : 木本花粉の出現率がさらに減少し、50% 以下となる。*Poaceae* が優勢で、シダ胞子も出現率が増加する。しかし、堆積量を見ると、木本花粉も草本花粉も減少している。全体的に花粉の堆積量の少ない時代である。しかしながら、この花粉帯に入る少し前からソバ属花粉 (*Fagopyrum*) が出現率、堆積量とも増加する。堆積量では大きな変化がない。

局地花粉帯 KT1-II (約 150 ~ 50 cm) : 出現率では木本花粉が次第に増加する。ニヨウマツ類 (マツ属複雑管束亜属 : *Pinus* subgen. *Diploxylon*) が出現率、堆積量とも増加する。それに伴い、*Poaceae* の出現率が減少するが、堆積量はほとんど変化がない。*Fagopyrum* の花粉は相変わらず多く出現する。

局地花粉帯 KT1-I (約 50 ~ 0 cm) : 出現率、堆積量とも、*P.* subgen. *Diploxylon* の花粉が減少し、スギ属 (*Cryptomeria*) が急増する。*Q.* subgen. *Lepidobalanus*, ケヤキ属 (*Zelkova*) など落葉広葉樹が次第に多くなる。

KT14-2

花粉分析の結果を図 6 に示す。全体を通して樹木花粉が出現率・堆積量ともに少ない。分析した時代では大きな変化がみられなかったが、時代が新しくなるにつれ次第に樹木花粉が増加する。*P.* subgen. *Diploxylon* が出現率と堆積量両方で増加している

ことに起因する。堆積量で *P.* subgen. *Diploxylon* と *Poaceae* が増加するコア深度 330 cm 付近で下を局地花粉帯 KT2-II, 上を KT2-I とした。

局地花粉帯 KT2-II (~約 330 cm) : 木本花粉の出現率が低く、シダ胞子が多く観察された。堆積量では、*Poaceae* が徐々に増加している。

局地花粉帯 KT2-I (約 330 cm ~ 0 cm) : 堆積量を見ると *P.* subgen. *Diploxylon* が急増する。また、*Poaceae* の花粉も増加している。それに伴い、花粉全体の堆積量が増加している。コア深度 220 cm でアカザ科 (*Chenopodiaceae*) の出現率と堆積量ともに多くなるが、一時的な現象で上下の層では多くなかった。

KT14-5

花粉分析の結果を図 7 に示す。花粉の出現率と堆積量により 5 つの局地花粉帯 (KT5-I ~ V) を設定した。

局地花粉帯 KT5-V (~約 350 cm) : 草本花粉、シダ胞子はほとんど出現せず、木本花粉が 90% 近くを占める。*Q.* subgen. *Lepidobalanus*, *Castanopsis/Castanea* の出現率が高い。*F. crenata* や *Alnus* の出現率も比較的高くなっている。炭片は出現率・堆積量とも少ない。

局地花粉帯 KT5-IV (約 350 ~ 270 cm) : 木本花粉の出現率が若干低下し、堆積量では徐々に少なくなる。出現率で見ると、*Castanopsis/Castanea* の減少が大きい。堆積量では木本花粉が減少していた。草本花粉とシダ胞子は出現率では若干増加しているが、堆積量に大きな変化はない。

局地花粉帯 KT5-III (約 270 ~ 130 cm) : 木本花粉の出現率がさらに減少し 50% 以下となる。木本花粉の堆積量も少なくなる。出現率では *Poaceae* とシダ胞子の増加がみられるが、花粉の堆積量の増加は認められない。この花粉帯に入る少し前から *Fagopyrum* が多く観察されるようになった。また、炭片が増加していた。

局地花粉帯 KT5-II (約 130 ~ 30 cm) : *Pinus* subgen. *Diploxylon* が出現率、堆積量の両方で増加する。そのため、木本花粉が増加した。*P.* subgen. *Diploxylon* 以外の木本花粉の増加はほとんど見られない。シダ胞子は減少傾向にあった。*Fagopyrum* は KT5-IIIa 帯から変わらず多く出現する。炭片が多く観察された。

局地花粉帯 KT5-I (約 30 ~ 0 cm) : 出現率、堆積量とも木本花粉が増加した。*P.* subgen. *Diploxylon* と *Cryptomeria* の花粉が出現率と堆積量両方で増加

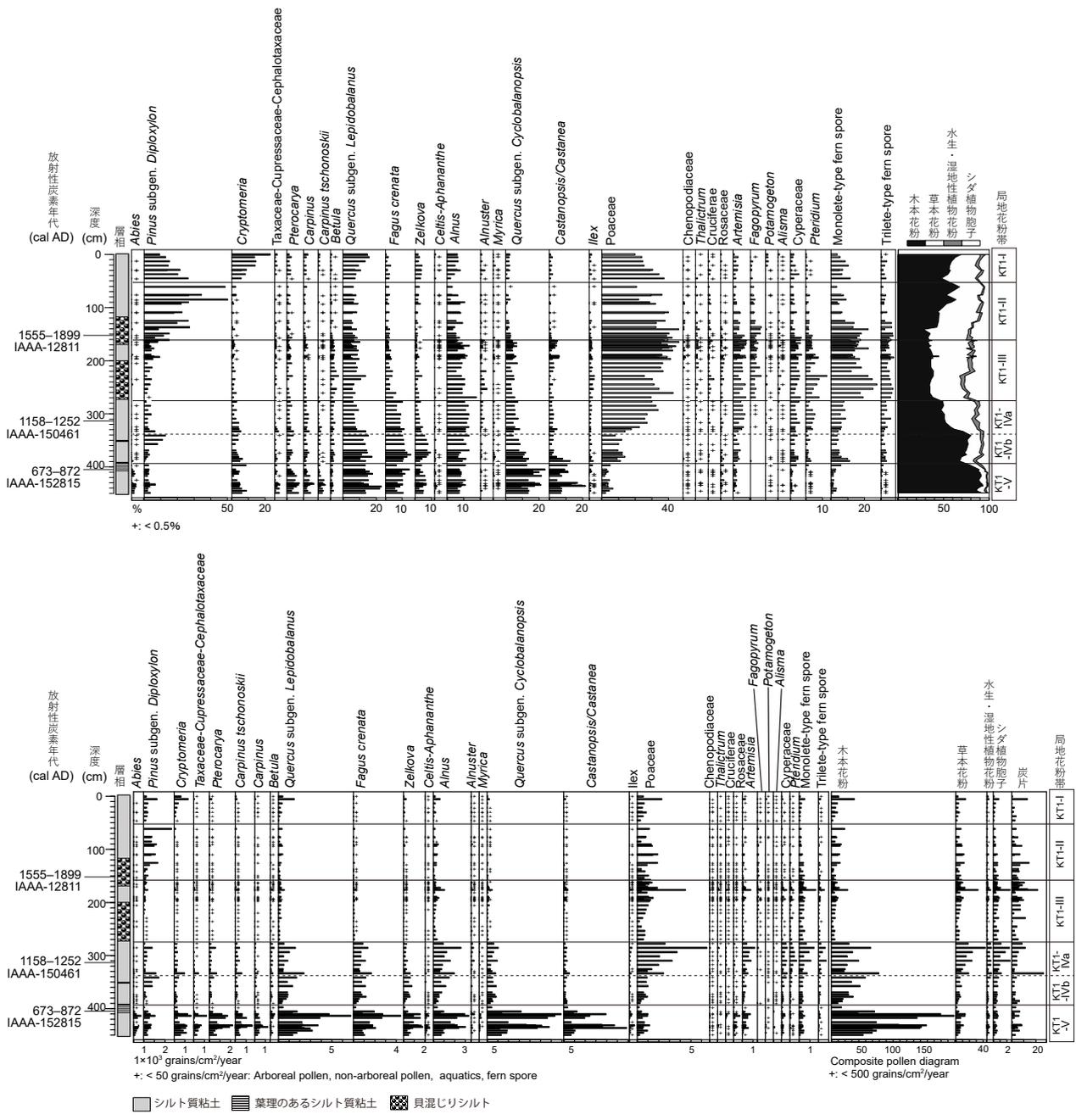


図5 北瀨湖 KT14-1 コアの花粉分析および微粒炭分析結果. 主な花粉分類群を示す. 上段：花粉出現率, 下段：花粉堆積量.

Fig. 5 Pollen analysis and charcoal analysis of KT14-1 core with main pollen taxa from Lake Kitagata. Upper: percentage, lower: pollen flux.

福井県北潟湖堆積物の花粉分析とCNS元素分析からみた環境変遷と人間活動

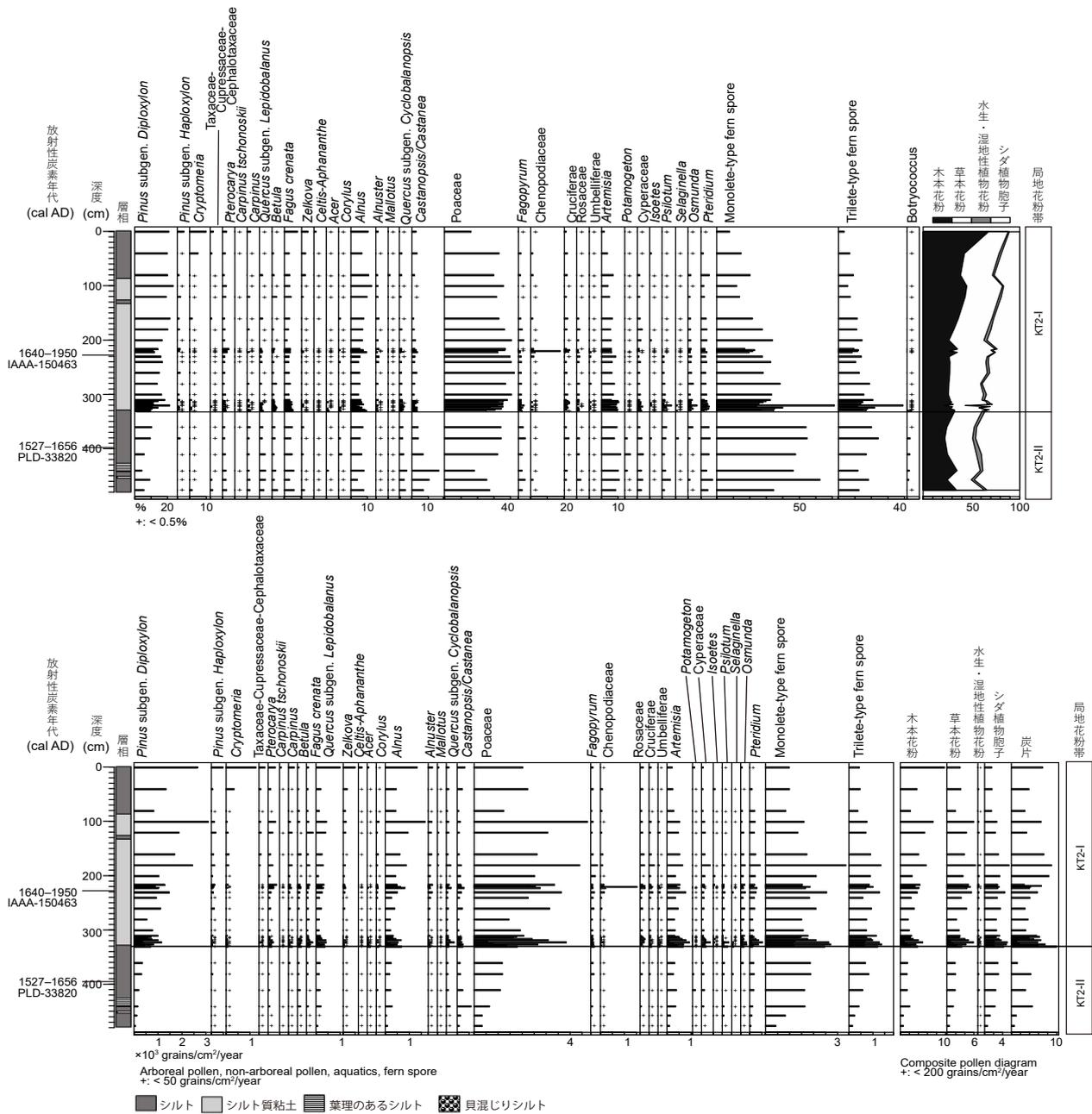


図 6 北潟湖 KT14-2 コアの花粉分析および微粒炭分析結果。主な花粉分類群を示す。上段：花粉出現率，下段：花粉堆積量。

Fig. 6 Pollen analysis and charcoal analysis of KT14-2 core with main pollen taxa from Lake Kitagata. Upper: percentage, lower: pollen flux.

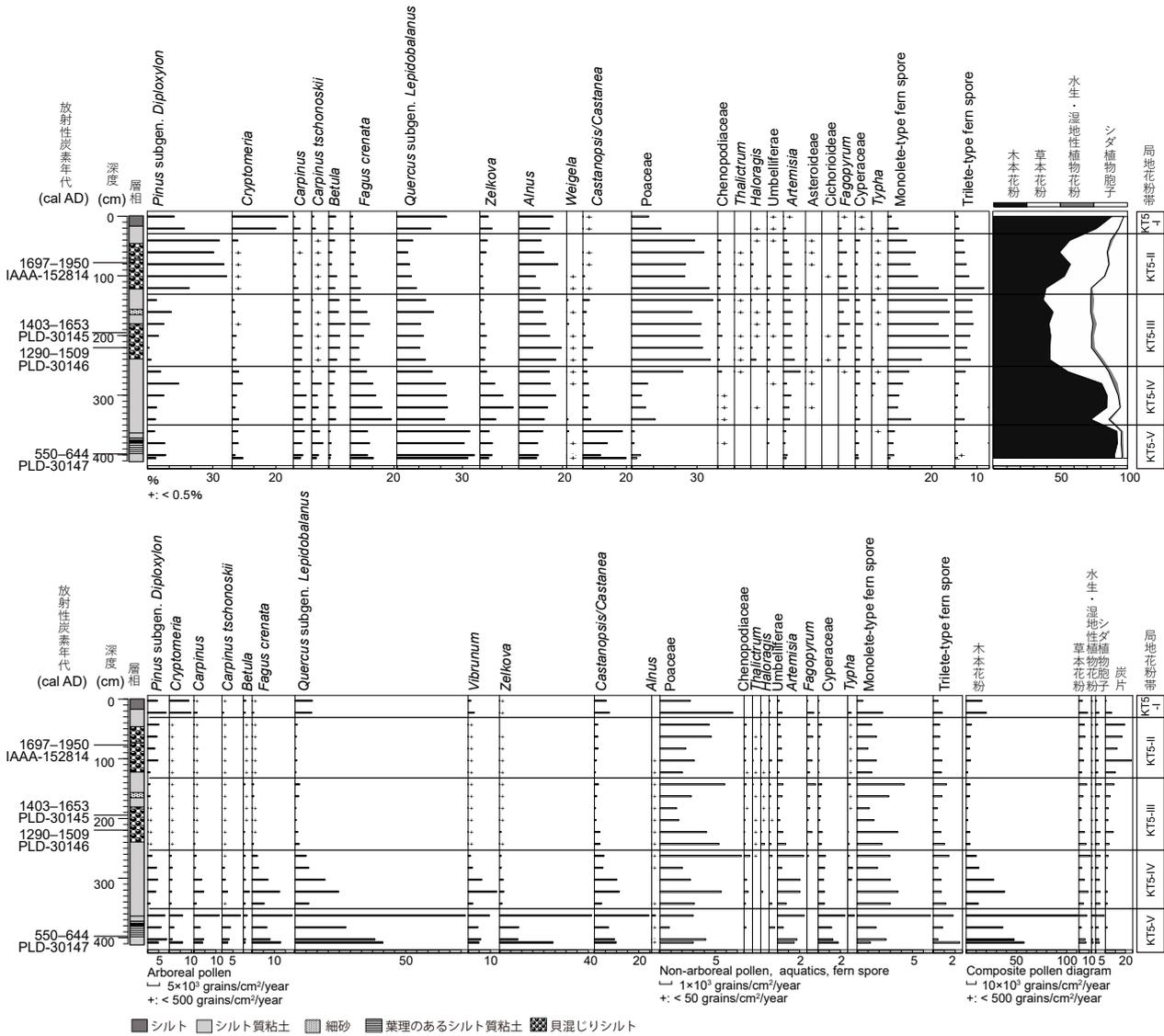


図7 北潟湖KT14-5コアの花粉分析および微粒炭分結果. 主な花粉分類群を示す. 上段: 花粉出現率, 下段: 花粉堆積量

Fig. 7 Pollen analysis and charcoal analysis of KT14-5 core with main pollen taxa from Lake Kitagata. Upper: percentage, lower: pollen flux.

している。Q. subgen. *Lepidobalanus*, *Zelkova* など落葉広葉樹も同様に増加した。草本花粉については出現率が低下するが、堆積量には大きな変化はない。炭片の減少がみられる。

CNS 元素分析

KT14-1

分析結果は図8に示す。TN (全窒素量) と TOC (全有機炭素) は同様の増減傾向があった。コア最深部から徐々に減少し、360 cm で増加に転じ、320

cm まで増加した。再び減少し、250 cm から 150 cm までは、TN は 0.1% から 0.2% の間で、TOC は 1.6% から 2% までの間の小さい値であった。その後、60 cm まで増加するが、再び 30 cm まで減少した。その後、再び増加している。TS (全硫黄) については、370 cm から 330 cm までは 1% 以下、290 cm で 1.7% と低い値であったが、そのほかは 2 から 5 の値であった。

C/N 比 (全有機炭素 / 全窒素比) ではコア深度約 130 cm までは 12.8 から 11 程度と比較的高い値を示

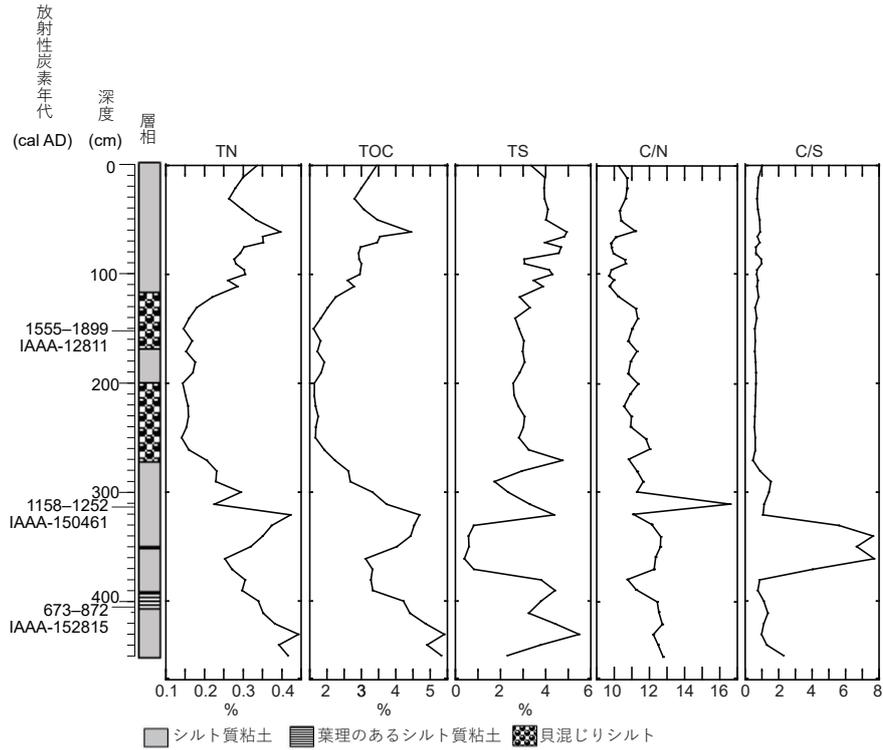


図8 北潟湖 KT14-1 コアの CNS 元素分析結果.

Fig. 8 CNS elemental analysis of KT14-1 core from Lake Kitagata.

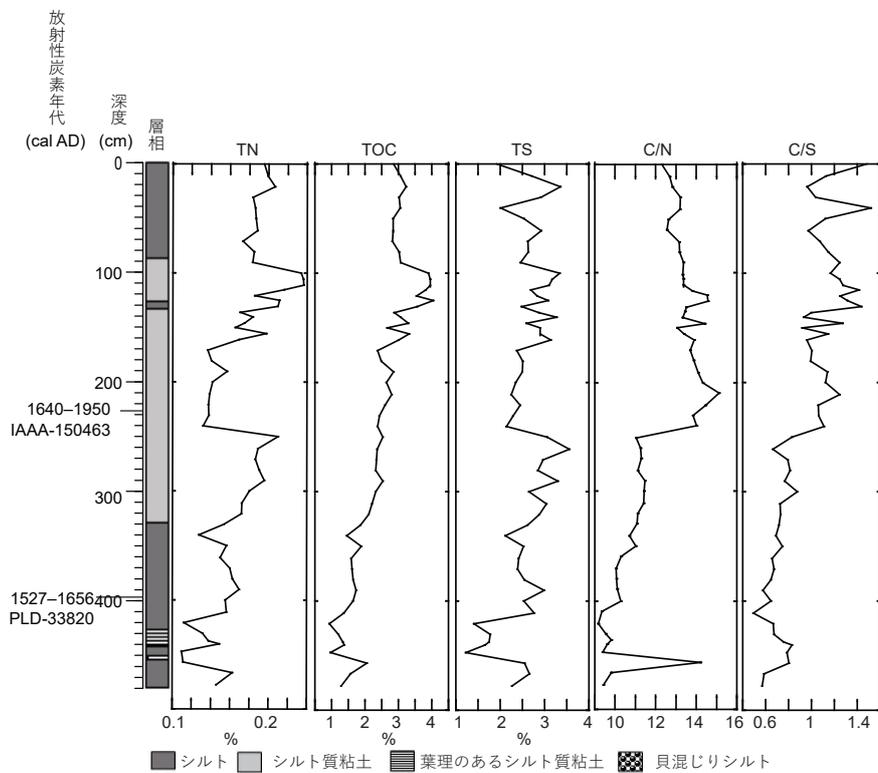


図9 北潟湖 KT14-2 コアの CNS 元素分析結果.

Fig. 9 CNS elemental analysis of KT14-2 core from Lake Kitagata.

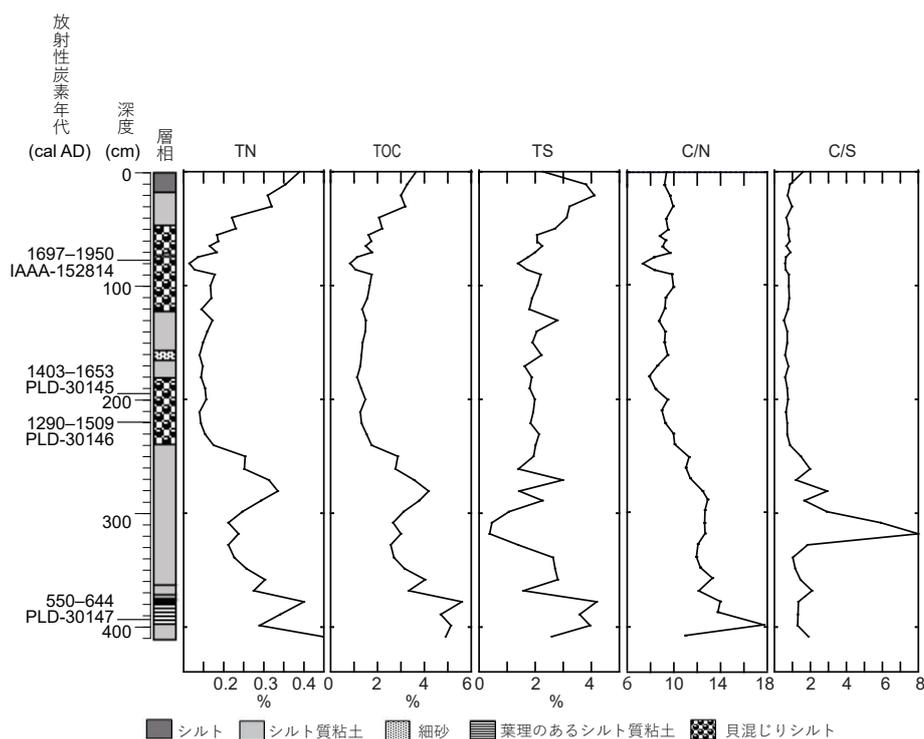


図 10 北潟湖 KT14-5 コアの CNS 元素分析結果.

Fig. 10 CNS elemental analysis of KT14-5 core from Lake Kitagata

している。その中で 310 cm は 16.6 と高くなる時代があった。深度約 130 ~ 70 cm は 10 前後となった。それ以降は 11 前後の値であった。

C/S 比（全有機炭素 / 全有機硫黄比）では、コア深度 330 ~ 370 cm の間で 4 から 7.7 と高い値であったが、他は 0.5 から 1.5 程度となっていた。分析した一番下層のサンプルは若干高く 2.3 となっている。

KT14-2

分析結果は図 9 に示す。TN と TS は同様の増減傾向があった。いずれも増減を繰り返しているが、全体的に増加傾向にある。コア深度 460 cm から 420 cm, 340 cm, 240 cm から 160 cm で低下し、110 cm 前後で最大となっている。TOC は次第に増加するが、120 cm から 90 cm で値が大きくなり、一旦減少して、増加した。

C/N 比（全有機炭素 / 全窒素比）では、深度 450 cm で一時的に 14 と高い値を示していた。それ以外ではコア深度約 250 cm までは 8.3 から 13 程度となっていた。その上層では急に値が高くなり、210 cm には 15 にまで上昇する。同時期、TN が減少している影響である。その後、徐々に低下した。

C/S 比（全有機炭素 / 全有機硫黄比）では、0.5 ~

1.5 程度の間を変動していた。コア深度 240 cm から若干値が大きくなる。

KT14-5

分析結果は図 10 に示す。TN（全窒素量）と TOC（全有機炭素）は同様の増減傾向があった。コア深度 380 cm までは値が大きいが、深度 290 cm まで減少する。その後、270 cm まで増加し、次第に減少していく。深度 80 cm までは低い値を示すが、その後、次第に増加した。TS では、深度 320 cm まで次第に減少していた。その後、2% 前後まで増加し、比較的安定しているが、深度 80 cm あたりから増加に転じた。C/N 比（全有機炭素 / 全窒素比）はコア深度 400 cm 付近で 17.7 と値は大きくなるが、他の時代は 14 から 9 の間を変動していた。上層になるにつれ次第に値が小さくなり、240 cm 以上では 7.4 ~ 10 となっていた。

C/S 比（全有機炭素 / 全硫黄比）では、コア深度 310 ~ 320 cm では、値が高くなり、約 6 から 8 となった。その他の層では 0.5 から 3 の間を変動していた。その中でも 240 cm までは 1.2 から 3 となり、240 cm 以上の部分では一番上の層を除いては 1 以下の値となっている。

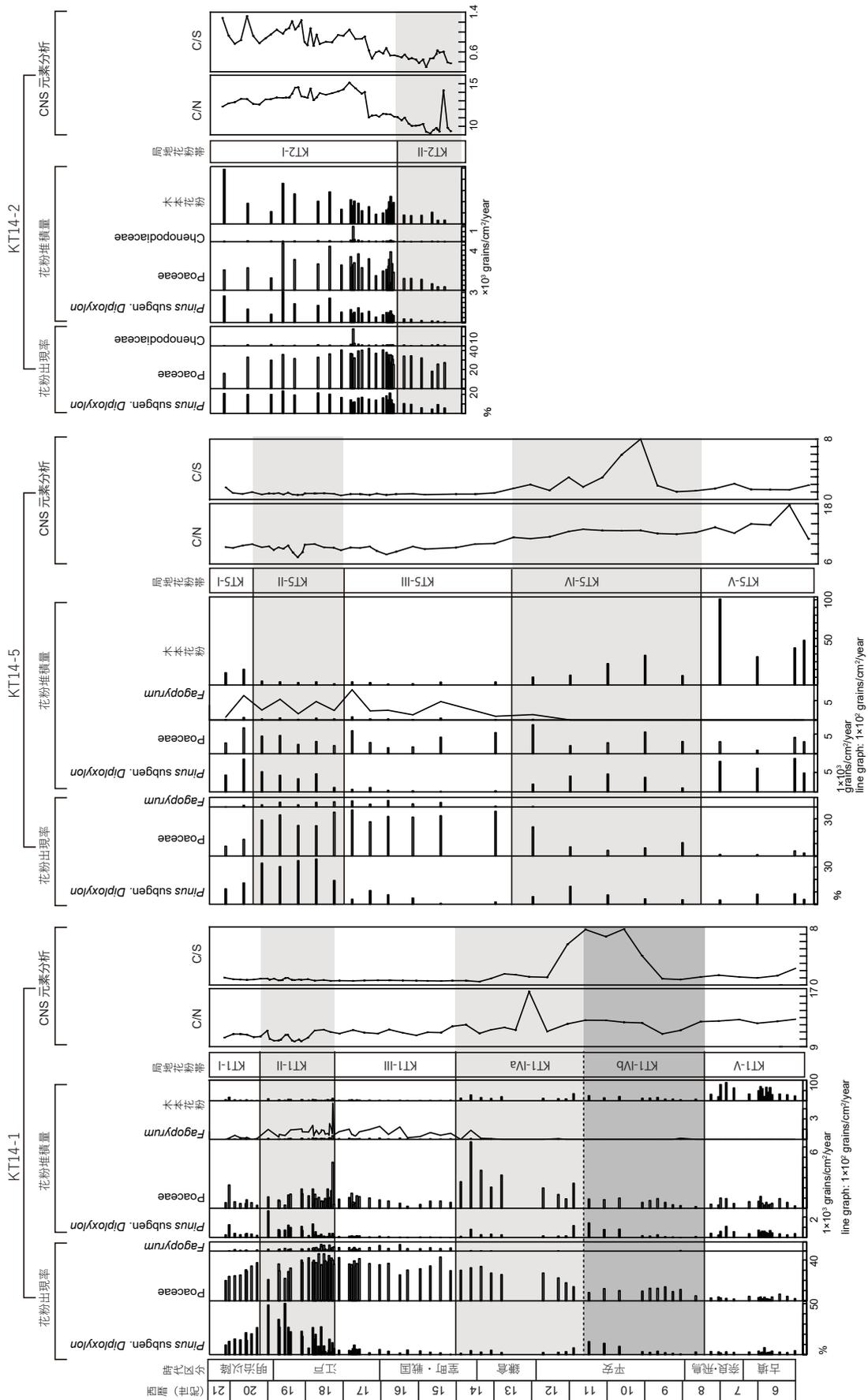


図 11 各時代と本研究で主に議論される花粉分類群の出現率・堆積量・CNS 元素分析結果の対応。
 Fig. 11 Correlation between historical periods and the percentage and flux of pollen taxa, see discussion in the text and the result of C/N and C/S ratios.

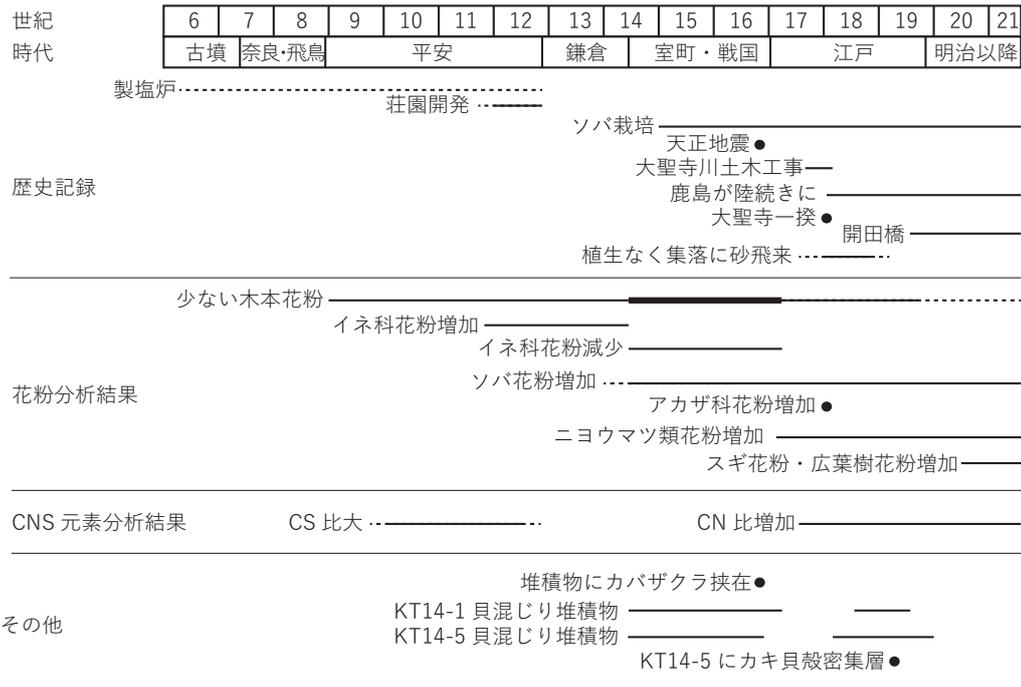


図 12 北潟湖の歴史と本研究の結果。

Fig. 12 Comparison between historical records of Lake Kitagata and the results from this study.

考 察

1. 分析コアの深度と局地花粉帯の年代

各コアの年代と時代は図 4 に示した。この年代モデルによると、各局地花粉帯の時代は以下のようになる。主な出現花粉と局地花粉帯、CNS 元素分析結果と年代の関係は、縦軸を年代として図 11 に示した。

KT14-1 は約 6 世紀からで、局地花粉帯 KT1-V はおよそ 6 世紀から 9 世紀となり、飛鳥時代から奈良時代にあたる。局地花粉帯 KT1-IV の垂帯 b は 9 世紀から 11 世紀半ばの平安時代、垂帯 a は 11 世紀半ばから 14 世紀末で平安時代から室町時代にあたる。KT1-III は 15 世紀から 18 世紀の室町時代から江戸時代、KT1-II は 18 世紀～ 20 世紀半ばの明治時代から昭和初期、そして、KT1-I は 20 世紀から現在にあたる。

KT14-2 の局地花粉帯 KT2-I はおよそ 15 世紀から 17 世紀で戦国時代から江戸初期にあたり、KT1-II はおよそ 18 世紀から現在で、江戸末期から現在までとなる。

KT14-5 の局地花粉帯 KT5-V はおよそ 6 世紀から 8 世紀の飛鳥時代から奈良時代となる。KT5-IV は 8 世紀から 13 世紀半ばの平安時代から鎌倉時

代、KT5-III は 13 世紀半ばから 17 世紀の鎌倉時代から江戸時代初期である。KT5-II は 18 世紀半ばから 20 世紀半ばで、江戸時代から昭和初期にあたり、KT5-I は 20 世紀半ばから現在までとなる。

2. 北潟湖周辺の植生と湖内環境に対する人間活動影響

2-1. 古代の製塩活動による環境への影響

北潟湖周辺では古墳時代から平安時代の製塩炉や製塩土器が出土している。しかし、現在の北潟湖は汽水湖で、海とは砂丘で隔てられ、効率的な塩の生産ができる環境にない。古代製塩の手法は明らかではないが、「藻塩焼き」法があったと考えられている(村上, 1991)。村上(1991)によると、この手法では、海藻を天日に干して焼いて「灰塩」を作る、もしくは、海藻の表面に付着した塩分を海水で洗って濃い塩水を作り、これを煮詰める。いずれにせよ、海藻と海水が近くで手に入るところで行われ、燃料として多量の木が必要である。北潟湖周辺にある製塩炉の遺跡は現在、海から離れた内陸部に位置しているが、明治以降の干拓事業により北潟湖の面積は縮小している(芦原町史編纂委員会, 1973; 北潟歴史探訪の会, 2017)。このことは明治 42 年に発行された 5 万分の 1 の地形図「三国」と現在の国土地理院図との比較でも面積が縮小していることが確認で

きる。このため、過去の北潟湖は現在よりも広く、細呂木阪東山遺跡は湖岸線が近くまで来ていた。一方、湖は砂丘で隔てられ、海からはかなりの距離があり、海藻を海から運び、汽水湖の水から塩を採るのはかなり非合理的である。そこで、赤澤（2020b）は塩を作って運搬する直前の焼き塩を作成する場所であったのではないかと仮説をたてた。花粉分析の結果では、8世紀頃に木本花粉が減少し、イネ科花粉などの増加がみられない。また、細呂木阪東山遺跡の発掘調査時、平安時代の層は炭片が多く含まれ黒くなっていた（図3）ことから推察すると、以下に示すように炉は利用されていたと考えられる。

花粉分析結果をみると、古墳時代から奈良・平安時代に利用されたと推定される製塩炉が発見された細呂木阪東山遺跡と樋山遺跡に最も近いKT14-1コアでは、局地花粉帯KT1-VとIVの境界あたりの8世紀半ば頃から、水路部のKT14-5コアでは局地花粉帯KT5-VとIVの境界頃のやはり8世紀半ば頃から木本花粉の出現率・堆積量ともに減少しており、この付近で森林植生が減少していると推測される。また炭片の増加は見られないが、製塩炉が利用されたと推定される8世紀から9世紀と一致し、製塩活動のためにニヨウマツ類（マツ属複雑管束亜属：*Pinus subgen. Diploxylon*）やコナラ亜属（*Q. subgen. Lepidobalanus*）、シイ属（*Castanopsis*）などが燃料として伐採されたと推定できる。ニヨウマツ類は一時的に減少したが、すぐに増加した。裸地が生まれたために二次林が発達したためと推察できる。しかし、CNS元素分析では、製塩にはあまり都合の良い場所ではなかったという結果がでた。花粉分析で木本花粉が減少した時期（8世紀半ば；KT14-1：深度390 cm；KT14-5：深度355 cm）には、C/S比は1.1であり、堆積物の上部の1.03と同じ程度であり、汽水であったと推定できる（Berner, 1984; Berner and Raiswell, 1984; Sampei et al., 1997）。その後、製塩炉に最も近いKT14-1コアでは深度360から340 cm（およそ10世紀～11世紀）ではC/S比をみると7前後と高くなり、TS濃度は約0.5%以下の低い値を示した。これらの値はほぼ淡水に近い塩分環境であったことを示す（Berner, 1984; Berner and Raiswell, 1984; Sampei et al., 1997）。KT14-5のコアでもコア深度320から310 cm（およそ10世紀～11世紀初頭）で同様にC/S比の値が高く、淡水であった。C/N比はKT14-1とKT14-5の両方で現在より高い値を示し、KT14-1コアの深度310 cm（12世紀頃）には16.6であった。TNとTOCの両方の値も

高い。この時代は陸上から運ばれてくる有機物が多かった、つまり、川から淡水が多量に流れ込んでいたと考えられる。赤澤（2020b）が言うように、炉跡は実際に海水を煮詰めた場所ではなかった可能性が高く、街道筋にあたることから、塩の運搬の前に焼き塩を作る場所であり、そのための燃料を周辺の森に求め、木が伐採されたと考えられる。

2-2. 平安—中世の汽水環境変化と栽培活動への影響

平安時代に淡水化が進む原因はわからないが、このことは荘園開発を活性化させた要因の一つと考えられる。KT14-1コアでは、淡水化していた時代の途中から、局地花粉帯KT1-IVaの時代に入る頃（11世紀末頃）、イネ科（*Poaceae*）花粉が増加する。11世紀末から12世紀には河口庄で大規模な荘園開発があった（小辻, 1980；神田 1985；清田, 1993）。河口庄にはKT14-1コア採取地点近くの細呂木も含まれ（清田, 1993）、KT14-1の近くでも荘園開発がされていた。淡水化は荘園開発には都合がよく、コメの生産が活発になったと考えられる。荘園の産物はこの場で焼かれた塩とともに、街道を通して運ばれたと推測できる。

花粉分析結果からみると、KT14-1では14世紀後半になると*Poaceae*花粉が減少し、状況が変化するようである。同時に木本の花粉の堆積量も極端に少なくなり、周辺植物の量が相当少なかったと推定できる。局地花粉帯ではKT1-IIIの時代になる。この時代の堆積物には貝殻片が多く混じる。KT14-5の局地花粉帯KT5-IIIの時代でも堆積物に貝殻片が多く混じるようになり、堆積環境が大きく変化したと考えられる。KT14-1とKT14-5の同時代のC/S比を見ると1前後と小さくなり、湖の水路部と湖心部が再び汽水に戻っている。C/N比は徐々に小さくなることから、川により陸から運ばれる有機物が次第に少なくなったと考えられる。この頃からKT14-1とKT14-2の両方でソバ属（*Fagopyrum*）花粉が増加する。それ以前からも観察されるが、この時期から特に多く観察されるようになった。越前でのソバの栽培は、15世紀、本多富正が救荒食として普及したことが始まりと言われている（中山, 1991）が、年代測定の誤差があるので確実ではないが、それ以前にも湖の環境の変化によって、そば栽培が行われるようになった可能性がある。北潟湖周辺では淡水から汽水環境になったことで稲作が難しくなり、その代わりにソバの栽培が盛んとなった可能性が高い。同時に木本花粉が急激に減少していることから、

周辺の樹木が減少したと考えられる。

2-3. 江戸一明治の土木工事と環境変化

江戸時代に入るとKT14-1, KT14-2, KT14-5すべての地点で *Pinus* subgen. *Diploxylon* の花粉が増加する。KT14-1 コアではKT1-II, KT14-2 コアではKT2-I, KT14-5 コアではKT5-IIの局地花粉帯にあたる。江沼志稿拾遺に、江戸中期には海岸沿いは植生がなく、砂が飛来して耕作地や集落を埋め植林したという記録がある(石川縣, 1940)。樹種は示されていないが、*Pinus* subgen. *Diploxylon* の花粉が増加することから *Pinus* subgen. *Diploxylon* の花粉増加は防砂林としてのクロマツの植林が行われたと推察される。

湖水の環境も変化している。KT14-2 コアの深度240 cmあたりからC/N比が高くなる。この深度は17～18世紀頃にあたるため、18世紀初頭頃に行われた大聖寺川の加賀藩による土木工事によって流れてきた土砂が北潟湖に影響を与えたと推測できる。その後、1713年頃、砂州の発達により鹿島が陸続きになった(芦原町史編纂委員会, 1973; 金井, 1984; 北潟歴史探訪の会, 2017)。しかし、どの深度でも、若干C/S比が大きくなるが、大きな変化は認められない。少なくともC/S比からは鹿島が陸続きになったことが北潟湖の環境に大きな影響を与えたとはいえない。

北潟湖では、吉崎浦絵地図には湖心までカキの筏が描かれ、江戸時代にはカキの養殖がされていたことがわかっている。しかし、明治時代の開田橋建設以降、海水の流入が減少し、養殖が衰退した(芦原町史編纂委員会, 1973; 北潟歴史探訪の会, 2017)。カキの養殖は高塩分の海域から低塩分の河口や内湾まで可能で、マガキでは塩分濃度10‰位までが適している(日本水産資源保護協会, 2003)。香月(2021)による北潟湖内の塩分濃度の調査結果では、10‰以上あり、現在の湖心の北部までは養殖が可能である。採取されたKT14-5のコアには、コア深度約80 cmの層にカキの遺骸の密集層が検出された。この層は年代モデルによると開田橋が建設された19世紀後半にあたりこの時にカキの大量死がおきたことを示している可能性が高い。しかし、この時期にC/N比, C/S比に大きな変化はない。また、その後の層にも大きな変化は認められない。少なくとも今回の結果からは、カキの大量死は、開田橋建設による塩分濃度低下が原因と単純には言い難い。しかし、C/S比は、数‰程度までの塩分低下ではその影響

は現れ難いため(Sampey et al., 1997)、その程度までの塩分低下は起こった可能性はある。開田橋建設によって大きな塩分低下は起こらなかったが、10‰以下までの塩分低下が季節的、もしくは、建設後数年にわたって起こり、カキの生育に影響を与えた可能性は残される。この時代の層までKT14-1とKT14-5の堆積物に多くの貝殻片がみられるが、それがなくなることからも、何らかの影響があったと考えられる。開田橋建設による環境への影響はさらに検討する必要がある。

2-4. 自然災害による周辺植生と湖内環境への影響

北潟湖に影響を与えたものに、自然災害がある。「芦原町史」(芦原町史編纂委員会, 1973)によると、江戸時代には地震や洪水、大雪などの多くの災害が起きているが、花粉分析やCNS元素分析からは長期の影響は明確に認められない。しかし、花粉分析から影響を示唆するアカザ科花粉の一時的な増加が認められる。18世紀初頭に暴風や塩害で不作が続く、1712年に年貢の減免を求め大聖寺一揆が起きている(吉武, 1987)。KT14-2コアの同じ時代に推定されるコア深度220 cm付近の層からアカザ科の花粉が20%近く検出され、堆積量も増加している。アカザ科の植物はオカヒジキ(*Salsola komaravii*)やカワラアカザ(*Chenopodium virgatum*)、ハマアカザ(*Atriplex subcordata*)といった高塩分環境に強い種が含まれ、塩害が起こった年に一時的にアカザ科の植物が増加したと推測できる。しかし、これは一時的な現象で、その上下の層ではアカザ科の花粉が大量に検出されることはなかった。

『兼見卿記』によると、天正地震の津波は越前にも到達したという記録があるが(外岡, 2012)、実体はよくわかっていない。北潟湖のコアにはその痕跡と言える貝が天正地震の時代と推定できるKT14-2コアの深度325 cmに挟在していた。貝の種はカバザクラ(*Nitidotellina cf. iridella*)で、この貝は潮間帯から水深30 mの細砂底に生息するが、コアは粘土質で、北潟湖に生息していたとは考えにくい。海から運ばれた可能性がある。運ばれる原因としては津波が考えられる。しかし、花粉分析結果でも、CNS元素分析でも、大きな変化はみられなかった。

ま と め

北潟湖の環境は、主に自然環境変化と人間活動の相互作用により変遷してきた。北潟湖の湖心の東岸に位置する細呂木阪東山遺跡や樋山遺跡で奈良から平安時代に利用されていた可能性の高い製塩炉が見つかる（福井県教育委員会，1993；赤澤，2020a, b）。花粉分析結果では8世紀頃、木本花粉が急減することから、樹木が伐採され、燃料として製塩炉で利用されていたと推測できる。しかし、CNS元素分析結果をみると、その後、北潟湖の水路部と湖心部で塩分低下が起こり、淡水に近い状態になっていた（以下，“淡水化”という）。9世紀半ば頃も現在と同様の汽水湖と推定でき、もし、この場所で製塩が行われていたとすると、非常に効率が悪い。赤澤（2020b）の仮説で、運搬する前の焼塩を作っていた場所であった可能性が高い。しかし，“淡水化”は続かず、再び汽水湖へ変化した。“淡水化”，汽水化の原因は不明であるが、湖のこの変化が周辺の水田開発に影響を与えたと考えられる。“淡水化”した時代の半ば（11世紀末から12世紀）には河口庄で大規模な荘園開発があり（小辻，1980；神田，1985；清田，1993），その時代、イネ科の花粉が増加した。“淡水化”は水田開発を活性化させたと推測できる。その後、汽水化するが、汽水化とともにイネ科の花粉が減少し、一方、ソバ属の花粉が増加した。稲作に不適切な土地となり、多少の塩分があっても栽培できるソバの栽培が活発になったと考えられる。花粉分析結果では、ソバの栽培とともに急激に木本花粉が減少した。しかし、江戸時代に入るとマツ花粉が増加する。江沼志稿拾遺には、「江戸中期には海岸沿いは植生がなく、砂が飛来して耕作地や集落を埋めたため植林した」という記録があり（石川縣，1940），樹種は示されていないが花粉分析の結果からはマツの植林が行われたと推測できる。江戸期には大聖寺川の土木工事も行われた。この頃から湖北部のC/N比が高くなる。工事による影響があったと推測できる。工事による砂州の発達によって鹿島が陸続きになったが（芦原町史編纂委員会，1973；金井，1984；北潟歴史探訪の会，2017），湖に大きな影響は与えなかったようである。明治時代の開田橋建設は湖のC/N比やC/S比には影響を与えていなかった。開田橋の建設によりカキの養殖ができなくなったと言われているが（芦原町史編纂委員会，1973；北潟歴史探訪の会，2017），少なくとも今回の結果からは開田橋の明確

な影響は花粉分析でも、CNS元素分析でも認められなかった。自然災害については、塩害の影響が一時的に現れた。アカザ科の植物が繁茂したことが判ったが、湖自体に大きな環境変化をもたらすものではなかった。

謝 辞

本研究は金沢大学環日本海域環境研究センター全国共同利用研究（採択番号17，28）の支援を受け実施された。ボーリング調査にあたっては、北潟漁業協同組合の協力を得た。この場を借りて深くお礼を申し上げる。

引 用 文 献

- 赤澤徳明（2020a）福井・細呂木阪東山遺跡。木簡研究，42: 130.
- 赤澤徳明（2020b）細呂木阪東山遺跡と樋山遺跡の性格。木簡研究，42: 132.
- 芦原町史編纂委員会（1973）芦原町史。芦原町教育委員会，819p.
- Beer, J. and Strum, M. (1995) Dating of lake and Loess sediments. *Radiocarbon*, 37: 81–86.
- Berner, R.A. (1984) Sedimentary pyrite formation: An up-date. *Gheochimica et Cosmohimica Acta*, 48: 605–615.
- Berner, R.A. and Raiswell, R. (1984) C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. *Geology*, 12: 365–368.
- 福井県教育委員会（1993）福井県遺跡地図。福井県教育委員会，205p.
- Fukusawa, H. (1999) Varved lacustrine in Japan: recent progress. *Quaternary Research (Daiyonki-kenkyu)*, 38: 237–243.
- Heaton, T., Köhler, P., Butzin, M., Bard, E., Reimer, R., Austin, W., Bronk Ramsey, C., Grootes, P. M., Hughen, K. A., Kromer, B., Reimer, P. J., Adkins, J., Burke, A., Cook, M. S., Olsen, J. and Skinner, L. (2020). Marine20—The Marine Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55,000 cal BP). *Radiocarbon*, 62(4): 779–820. doi:10.1017/RDC.2020.68
- 廣内大助（2003）福井平野東縁地域の活構造と地形発達。地質学評論，76(3): 119–141.
- 本多仁・片山知史・伊藤絹子・千田良雄・大森迪夫・大方昭弘（1997）河口汽水域における魚類集団の

- 生産構造と機能. 沿岸海洋研究, 35: 57-78.
- 井上 淳・高原光・吉川周作・井内美郎 (2001) 琵琶湖湖底堆積物の微粒炭分析による過去 13 万年間の植物燃焼史. 第四紀研究, 40: 97-104.
- 石川縣 (1940) 石川懸史第三編. 石川縣, 1446p.
- 金井年 (1984) 吉崎における中世的景観と近世的景観. 歴史地理紀要, 26: 187-202.
- 香月興太・瀬戸浩二・北川淳子 (2021) 北潟湖における夏の水質と珪藻遺骸分布. LAGUNA, 28: 1-14.
- 環境省 水・大気環境局 水環境課 (2014) 日本の汽水湖～汽水湖の水環境の現状と保全～. 環境省水・大気環境局水環境課, 241p.
- 神田千里 (1985) 河口坪江庄. 秋葉隆編「日本大百科全書 6」, 小学館, p. 47.
- 木村幸一・齋藤俊信・三谷麻衣・新西正昭 (2009) 小松・加賀・あわら地区湖沼湿原調査. 国土地理院時報, 119: 57-62.
- 北潟歴史探訪の会 (2017) あわら市北潟村民誌. 北潟歴史探訪の会, 494p.
- 清田善樹 (1993) 河口・坪江の荘. 網野義彦・石井進・稲垣泰彦・永原慶二編「講座 日本荘園史 6 北陸地方の荘園 近畿地方の荘園 I」, 吉川弘文館, p. 86-98.
- 小辻幸雄 (1980) 年表で見る越前若狭の古代. フェニックス出版, 279p.
- Kuzmin, Y.V., Burr, G.S., and Jull, A.J.T. (2001) Radiocarbon reservoir correction ages in the Peter the Great Gulf, Sea of Japan, and eastern coast of the Kunashir, Southern Kur. Radiocarbon, 43: 477-481.
- 宮本 康 (2004) 汽水湖の生物相: 塩分による直接・間接的な生物相の維持. LAGUNA, 11: 97-107.
- 村上正祥 (1991) 「藻塩焼き」の科学 (1). 日本海水学会誌, 45(1): 48-52.
- Nakagawa, T., Brugiapaglia, E., Digerfeldt, Reille, G.M., deBeaulieu, J.-L., and Yasuda, Y. (1998) Dense-media separation as a more efficient pollen extraction method for use with organic sediment/deposit samples: Comparison with the conventional method. Boreas, 27: 15-24.
- Nakagawa, T. and Suigetsu 2006 Project Members (2014) High-precision sampling of laminated sediments: Strategies from Lake Suigetsu. PAGES MAGAZINE, 22 (1): 12-13.
- 中山重成 (1991) 越前そば. 「福井県大百科事典」, 平凡社, p. 107-108.
- 日本水産資源保護協会 (2003) かき (牡蠣): わが国の水産業. 日本水産保護協会, 15p.
- Reimer, P., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C.P., van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J. R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. and Talamo, S. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP). Radiocarbon, 62(4): 725-757. doi:10.1017/RDC.2020.41
- Reimer, P.J. and Reimer, R.W. (2001) A marine reservoir correction database and on-line interface. Radiocarbon, 43: 461-463. doi.org/10.1017/S0033822200038339
- 坂口 豊 (1987) 黒ボク土文化. 科学, 57: 352-361.
- Sampei, Y., Matsumoto, W., Kamei, T. and Tokuoka, T. (1997) Sulfur and organic carbon relationship in sediments from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan. Geochemical Journal, 31: 245-262.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., and Reimer, R.W. (2021) CALIB 8.2 [WWW program] at <http://calib.org>.
- 外岡慎一 (2012) 「天正地震」と越前・若狭. 敦賀論叢, 26: 1-20.
- Tsukada, M., Sugita, S., and Tsukada, Y. (1986) Oldest primitive agriculture and vegetation environments in Japan. Nature, 322: 632-634.
- 山野井徹 (1996) 黒土の成因に関する地質学的検討. 地質学雑誌, 102: 526-544.
- 吉武佳一郎 (1987) 大聖寺一揆. 「日本大百科全書 14」, 小学館, p. 414.