

新潟平野沿岸部のボーリング試料から見た沖積層の地質構造

Geological structure of the Alluvium from the bore hole core analysis and high resolution shallow seismic reflection survey along the coastal zone of the Niigata Plain.

宮地良典¹・卜部厚志²・田辺 晋¹・安井 賢³・稲崎富士¹・鴨井幸彦⁴・中西利典⁵
小松原 琢¹・水野清秀¹

Yoshinori Miyachi¹, Atsushi Urabe², Susumu Tanabe¹, Satoshi Yasui¹, Tomio Inazaki¹,
Yukihiko Kamoi⁴, Toshinori Nakanishi⁵, Taku Komatsubara¹ and Kiyohide Mizuno¹

Abstract: The western marginal active faults of the Niigata Plain are west-dipping reverse fault, have high slip rate. The vertical-slip rate of this fault is estimated 2.8-4.0 mm/yr based on the vertical offsets of the 8.0-9.0cal kyr BP ravinement surface and the around 5.5cal kyr BP pumice layer. We obtained and analyzed some drilling core samples along the coastal line (GS-NIF and GS-NIK). We conducted high-resolution shallow seismic reflection surveying using Land Streamer at Uchino, coastal area of the Niigata City to image on- and off-fault deformation structure in a faulted zone.

Based on the drilling core analysis, we interpreted seven sedimentary facies, meandering river sediments, salt marsh to tidal flat sediments, offshore sediments, shoreface sediments, foreshore sediments, modern river sediments and dune sediments. Salt marsh to tidal flat sediments are deposited since 16kyr to 10kyr, and relative sea level rise seven times in this 6kyr.

This salt marsh to tidal flat sediments distribute on the hanging wall side of the fault. Therefore relative sea level rise caused by the subsidence of the fault activities.

Keywords: Niigata Plain, Kakuta-Yahiko Fault, Chuseki-so (alluvium), active fault, diatom, C14 radio carbon age

要旨

新潟平野西縁部の沖積層及びその基盤を大きく変形させている角田・弥彦断層の活動度を評価することを目的として調査・研究を進めた。著者らは平成 20 年度の調査で、この断層を挟んだボーリング調査を行い、活断層をほぼ直交方向に横断する沖積層の時空間分布を検討した結果、角田・弥彦断層の平均上下変位速度は 2.8~4.0mm/yr であると考えた(宮地ほか, 2009)。平成 21 年度は活断層近傍の新潟市西区五十嵐 3 の町 (GS-NIK), 赤塚 (GS-NAK), 西蒲区竹野 (GS-NTN), 前田 (GS-NMD) および信濃川河口付

近の新潟市中央区入船 (GS-NIF) においてボーリングを掘削し、既存ボーリングと合わせてこれらを解析した。また、同断層を挟んで 6 測線で高分解能反射法探査を行った。本報告では海岸に沿った地域で得られた GS-NIF,GS-NIK ボーリング及び海岸沿いの国道 402 号線沿いで行った高分解能反射法探査結果について報告する。

これらの調査の結果、新潟平野の堆積盆は全体に西に傾き、西縁の角田・弥彦断層をはさんで大きく西側が上昇している。この活動度は前述の通り 2.8-4.0mm/yr である。ボーリング調査の結果から本地域の沖積層は、河川成層、塩水~淡水性湿地成層、沖浜層、

¹産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

²新潟大学災害復興センター (Research Center for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, Ikarashi Nishi-ku, Niigata city, Niigata, 950-2181, Japan)

³甲賀地盤調査 (Co., Ltd. Koka, Kyomachi, Minakuchi-cho, Koka city, Shiga, 528-0017, Japan)

⁴株式会社興和 (Co., Ltd. Kowa, Shinko-cho, Chuo-ku, Niigata city, Niigata, 950-8565, Japan)

⁵韓国地質資源研究員 (KIGAM), 元地質情報研究部門 (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Gwahagno, Yuseong-gu, Daejeon, Korea, 305-350)

外浜層, 前浜層に分けられる. 塩水~淡水性湿地成層は約 16,000 年前から 10,000 年前に堆積し, 14.8, 14.5, 13.2, 12.5, 11.5, 11.0, 10.5 及び 9.5 千年前の 7 回海水が浸入したことが分かった. 高分解能反射法探査の結果では, この塩水~淡水性湿地成層は断層の東(下盤側)で厚く, 断層に近づくと薄くなり, 上盤側には見られないことからこの地層が断層の沈降に伴って堆積したと考えられる. この繰り返しが断層活動に伴う沈降によって海水が浸入したとすると, 約 1,000 年周期で活動していることになる.

1. はじめに

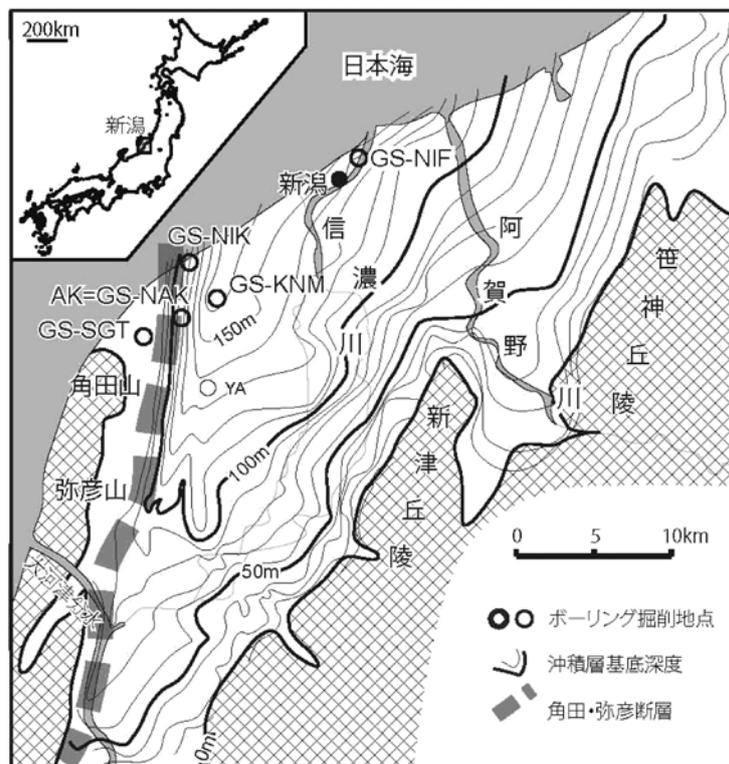
近年, 2007 年能登半島地震や中越沖地震など日本列島の沿岸海域で地震が発生し, 大きな被害をもたらした. 一方, 産総研ではこれまで陸域と海域それぞれの地質図を発行してきたが, このような沿岸域を含む統一的な地質モデルを表した地質図は作られていない. 本研究は統一的な地質モデル作成のため沿岸域調査として実施した. 特に新潟平野西縁部には活動度が高い活断層が北北東-南南西方向に分布している(小林, 1996). その内, 平野の北西部には角田・弥彦断層(仲川, 1985)が伏在している(第 1 図). この

活断層は変動地形学的には, 角田山東縁断層(池田ほか, 2002), もしくは, 長岡平野西縁断層帯の弥彦活動セグメント(産総研活断層データベース:産総研, 2009)と記載されている. 本調査では特にこの断層近傍の地質構造を明らかにし, 断層の活動履歴を明らかにすることを目的として, 陸域で 9 本のボーリングと 6 側線の高精度浅層反射法地震探査を行った.

本論はこの研究の内, 海岸線付近で掘削した 3 本のボーリングコアおよび 2 本の既存ボーリングの解析結果について報告する.

新潟平野の沖積層は, 平野西部で最も厚く最大層厚 150m を越えている(新潟県地盤図編集委員会編, 2002). 沖積層である白根層はバリアーラグーンシステムで埋積され, 縄文海進以降も複数回の海進-海退を繰り返している(安井ほか, 2001, 2002). この海進-海退の繰り返しによりバリアシステムが前進-後退を繰り返しながら現在の新砂丘 III まで前進したことが知られている(ト部ほか, 2006).

角田・弥彦断層の活動度については, 下川ほか(1997, 2000)は新潟市西浦区巻町(巻 GS コア)と同竹野町(竹野町 GS コア)でのボーリング調査に基づいて, 角田・弥彦断層の平均上下変位速度は約 3



第 1 図 調査地点位置図. ○は, ボーリングコア掘削地点をしめす. 沖積層基底図は新潟県地盤図編集委員会(2002)による.

Fig.1 Index map of the survey area. ○ means drilling site. The contour map from Niigata geotechnical consultants association(2002).

～4mm/yrであると推定している。この推定は断層の沈降側の過去6千年間の堆積速度によってなされているので、当時の海水準の標高や堆積環境を考慮していない。したがって、当時の堆積面が海面下であったのなら、上記の変位速度は過大評価している可能性がある。こうした問題点を踏まえ、沖積層の層厚がより大きい沿岸部（新潟地盤図編集委員会，2002）において角田・弥彦断層の活動度を評価することを目的として、断層をほぼ直交方向に横断する沖積層の時空間分布を検討した。

平成20年度には、この断層を挟んで新潟市西区赤塚（GS-SGT；標高16.39m，WGS84：N37°48'34.5"，E138°52'15.9"）および金巻新田（GS-KNM；標高2.74m，WGS84：N37°49'58.4" E138°55'47.1"）を掘削し、断層を横断する沖積層の時空間分布を検討した。その結果、この地域の沖積層を下位から、蛇行河川堆積物・淡水～塩水湿地堆積物・沖浜堆積物・外浜堆積物・前浜堆積物・後浜堆積物・現世河川および砂丘堆積物に区分した。これらの中で明瞭な対比層準であった、8～9千年前に形成された沖浜～上部外浜堆積物の海進面および約5.4千年前の上部外浜堆積物に挟在する軽石質火山灰層の標高差を求めた。これらの基準面が形成された当時の地形勾配を加味すると、角田・弥彦断層の平均上下変位速度は2.8～4.0mm/yrであると考えられた（宮地ほか，2009）。更に淡水～塩水湿地堆積物については、数回の淡水～塩水湿地環境の繰り返しがあること、この繰り返しにあわせて堆積速度が速くなっていることがわかっており、これが断層活動に伴う沈降によるものか、融水パルスなどによるスパイク的な海水準上昇によるもの（Bard et al., 1996, Tanabe et al., 2009 など）なのか問題となっていた。

平成21年度はこれらからわかってきた問題点を解決するため、陸域において5地点のボーリング調査と6測線の高精度反射法探査調査を実施した（第2図）。

海岸部 海岸部においては、新潟市西区五十嵐3丁目の新潟県水産海洋試験所敷地内において150mクラスのボーリング調査を実施すると共に海岸に沿った国道402号線において断層をまたいだ測線でランドストリーマーによるP波高精度弾性波探査を実施した。

新潟市西区赤塚周辺 新潟市西区赤塚周辺においては、平成21年度にGS-SGT，GS-KNMの2本のボー

リングを掘削し、その中間点にあるAKコア（ト部ほか，2007）をあわせて検討した。AKコアは掘進長が50mと沖積層基盤まで到達していなかったため同じ地点において50m以深の沖積層の掘削とその解析を行い、ボーリング地点周辺においてP波ランドストリーマー探査（AK_PLS）及びS波ランドストリーマー探査（AK_SLS）の反射法探査を実施した。

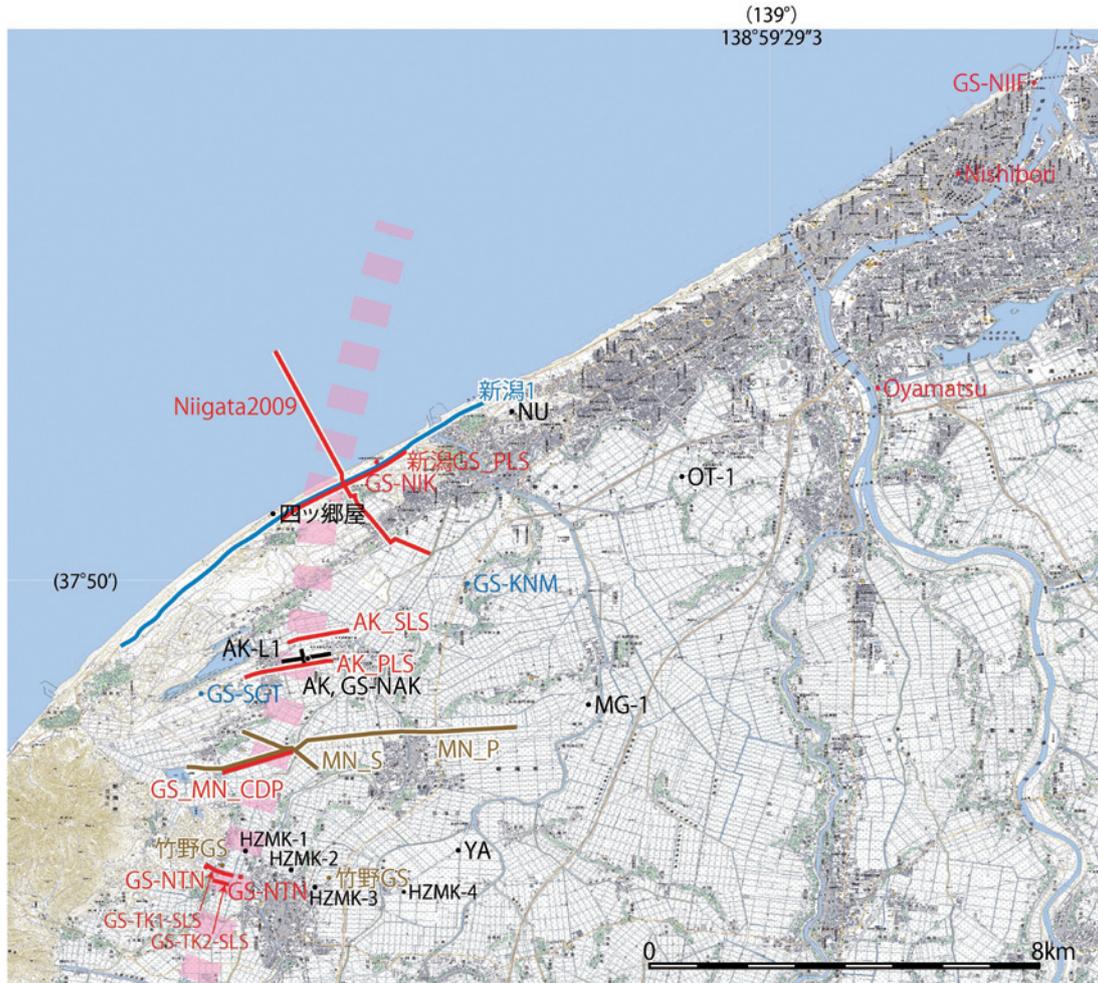
新潟市西蒲区松之尾 新潟市西蒲区松之尾に於いては加野ほか（1999）に報告された側線などの反射法探査が実施されてきた。同側線に於いて高密度なP波弾性波探査調査を実施した。

新潟市西蒲区竹野町 新潟市西蒲区竹野町周辺では、下川ほか（1997，2000）や石山ほか（2009）のボーリング調査が実施されてきた。本プロジェクトではこれらの対象地域より西側から平成21年度夏に微動アレー法探査を実施し、沖積層基底面がこれより西にあることが判明した。予想される断層面を挟んで2地点でボーリング調査を実施し、また、条件の異なる2測線に於いてランドストリーマー探査を実施した。

本報告では1. 海岸部の沖積層の地質構造について報告し、2. 新潟市西区赤塚周辺地域については稲崎ほか（2010）、3. 新潟市西蒲区松之尾周辺については楮原ほか（2010）、そして4. 新潟市西蒲区巻町～竹野町周辺についてはト部ほか（2010）で報告する。

2. 方法

平成21年度に新潟平野の海岸沿いにおいて2本のコアを掘削し、これに沿った国道402号線沿いにおいてランドストリーマーによる高精度浅層反射法地震探査を実施した。角田・弥彦断層の沈降側にあたる新潟市西区五十嵐三丁目の新潟県水産海洋研究所敷地内（WGS84：N37°51'35"，E138°54'34"，標高8.56m）において、163m長のGS-NIKコアを、断層から離れた信濃川河口付近の新潟市中央区入船町4丁目の国土交通省新潟港湾・空港整備事務所敷地内（WGS84：N37°56'36"，E139°3'42"，標高1.42m）において、145m長のGS-NIFコアを掘削した。これにあわせて新潟市中央区親松地区の排水機場において既存ボーリングOYA（WGS84：N37°52'28.9"，E139°1'30.4"，標高0.78m）および新潟市西蒲区鏡潟において掘削されたYAコア（WGS84：N37°46'28.3"，E138°55'40.2"，標高1.2m，Tanabe et al., 2009）の再解析を行った。これと平成21年度に掘削したGS-KNMコア



第 2 図 新潟平野周辺陸域の学術ボーリング、及び反射法探査測線。ボーリング：GS-NIF：新潟市中央区入船（本報告）、Nishibori：新潟市中央区西堀（本報告）、MG-1：新潟市升岡（卜部・高濱，2002；Urabe et al., 2004）、GS-NIK：新潟市西区五十嵐（本報告）、四ッ郷屋：新潟市西区四ッ郷屋、NU：新潟大学、OT-1：新潟市黒鳥（卜部ほか，2006）、MG-1：新潟市升岡（卜部・高濱，2002；Urabe et al., 2004）、YA：新潟市鏡潟（Tanabe et al., 2009）、GS-KNM：新潟市西区金巻新田、GS-SGT：新潟市西区赤塚（宮地ほか，2009）、AK、GS-NAK：新潟市赤塚（同地点で再掘削：卜部ほか，2006；稲崎ほか，本報告）、竹野GS：新潟市西蒲区竹野町、巻GS：新潟市西蒲区巻町（下川ほか，1999）、GS-NTN：新潟市西蒲区竹野町、GS-NMD：新潟市西蒲区前田地区（卜部ほか，本報告）、HZMK-1～4：新潟市西蒲区竹野町周辺の単列ボーリング（石山ほか，2009）。反射法探査測線：新潟 1：新潟市西区越前浜～五十嵐浜（山口ほか，2009）、新潟 GS_PLS：新潟市西区内野新町周辺（本報告）、AK_SLS：新潟市西区赤塚（稲崎ほか，本報告）、AK-L1：新潟市西区赤塚（卜部ほか，2007）、AK_PLS：新潟市西区赤塚（稲崎ほか，本報告）、MN_P：新潟市西蒲区松之尾地区（加野ほか，1999）、MN_S：新潟市西蒲区松之尾地区（稲崎ほか，1999）、GS_MN_CDP：新潟市西蒲区松之尾地区（楮原ほか，本報告）、GS-TK1-SLS、GS-TK2-SLS：新潟市西蒲区竹野町（卜部ほか，本報告）、Niigata2009：新潟沿岸部海陸接合測線（楮原ほか，本報告）。

Fig.2 Drilling site and the lime of the seismic reflection survey around Niigata Plain.

を対比し、海岸線に平行な測線および直交する測線を設定し、沖積層の時空分布を検討した。

堆積相については、微細な堆積構造を観察するために、東邦化学工業株式会社製のグラウト剤 SAC-1 を使用して剥ぎ取り標本を作製した。また、管電圧 40kvp・3mA・8 秒間で発生させた軟 X 線が 1cm 厚のスラブ試料を透過した写真をアールエフ社製のデジタル X 線センサー NAOMI/NX-04S を使用して撮影した。さらに詳細に、堆積環境を推定するためにスミアスライドを作成して珪藻化石の群集組成を解析した。

各ボーリング孔を用いてサスペンション PS 検層、コンビネーション検層（キャリアパ、比抵抗、温度ほか）および温度検層をおこなった。また、堆積物物性を明らかにするため約 7cm³ のキューブ試料を用いて約 25cm 間隔で湿潤かさ密度を測定した。

一方、堆積年代については、コア試料から産出した植物片の放射性炭素年代値を測定して、それらを CALIB 5.0. (Stuiver et al., 2005) と IntCal04 (Reimer et al., 2004) で AD1950 = 0 cal BP として暦年較正した（第 1 表）。

第1表 放射性炭素同位体年代値の概要. a: GS-NIK コアの年代値, b: GS-NIF コアの年代値.

Table 1 Summary of radiocarbon dates. (a: GS-NIK core, b: GS-NIF core).

Depth (cm)			Material	Conventional age (BP):		Calibrated age (cal BP):		Sample ID (KIGAM-)
Medium	Top	Bottom		Medium	Error	Youngest	Oldest	
645	-	-	Plant fragment	420	50	320	540	OTg090209
917	914	920	leaf	250	50	0	460	OTg090216
1774	1772	1775	Plant fragment	510	50	490	650	OTg090210
2624	2621	2626	Plant fragment	1320	50	1090	1330	OTg090211
3537	3536	3538	Plant fragments	1570	50	1350	1560	OTg090212
4616	-	-	Plant fragment	2010	60	1830	2120	OTg090213
5222	5220	5223	Plant fragment	2240	50	2150	2350	OTg090214
6735	-	-	wood	3460	60	3580	3880	OTg090215
8970	-	-	wood	8830	90	9610	10180	OTg090217
9572	9570	9573	Plant fragment	8900	100	9680	10240	OTg090278
9610	-	-	wood	8540	80	9330	9700	OTg090279
9844	9843	9845	Plant fragment	9530	90	10590	11160	OTg090280
10055	10053	10057	Plant fragment	11170	110	12750	13280	OTg090282
10105	-	-	Plant fragment	10940	120	12620	13100	OTg090283
10163	10162	10163	wood	12560	110	14180	15170	OTg090284
10430	10428	10431	Plant fragment	11070	100	12680	13160	OTg090286
10473	10470	10475	Plant fragment	11530	100	13180	13640	OTg090287
10590	10589	10591	Plant fragment	11150	140	12700	13290	OTg100038
10790	-	-	Plant fragment	11220	90	12850	13310	OTg090290
11079	11077	11080	Plant fragment	11940	130	13450	14070	OTg090292
11222	11221	11223	wood	11000	80	12680	13090	OTg090294
11304	11302	11306	Plant fragment	10760	90	12550	12880	OTg090295
11662	11661	11663	Plant fragment	12770	90	14650	15850	OTg090298
11811	11809	11812	wood	12070	90	13740	14150	OTg090300
11975	-	-	Plant fragment	11490	100	13140	13590	OTg090301
12280	-	-	Plant fragment	12850	100	14900	16150	OTg090302
12357	12356	12358	Plant fragment	11440	90	13120	13470	OTg090303
12563	-	-	Plant fragment	12390	100	14040	15000	OTg090201
12661	12660	12661	Plant fragment	12590	90	14230	15180	OTg090202
12871	12869	12873	wood	12750	110	14550	15900	OTg090203
12985	12984	12985	Plant fragment	12600	80	14240	15190	OTg090204
13590	13587	13592	wood	14000	100	16820	17440	OTg090205
13739	13738	13740	wood	25120	220	29500	30380	OTg090206
14191	14190	14192	wood	30040	350	33650	35210	OTg090207
14255	-	-	Plant fragment	25480	300	29580	30880	OTg100040
14326	14325	14327	wood	33160	410	36780	38770	OTg090208

Depth (m)			Material	Conventional age (BP):		Calibrated age (cal)		Sample ID
Medium	Top	Bottom		Medium	Error	Youngest	Oldest	
2.20	-	-	wood	-1640	50	modern	modern	KIGAM-OTg100001
21.70	-	-	shell	2170	40	1650	1880	BETA270511
34.18	-	-	wood	2550	60	2370	2770	KIGAM-OTg100002
39.83	-	-	wood	2820	40	2800	3060	BETA270510
41.73	-	-	shell	3370	40	3120	3350	BETA270517
49.99	-	-	wood	4060	70	4420	4820	KIGAM-OTg100003
50.40	-	-	wood	3370	90	3400	3840	KIGAM-OTg100004
51.26	-	-	wood	3920	40	4238	4510	BETA270512
52.79	-	-	wood	4100	40	4450	4470	BETA270513
54.69	-	-	wood	4760	40	5330	5590	BETA270518
58.32	-	-	wood	5370	70	5960	6290	KIGAM-OTg100005
65.58	-	-	Plant fragment	5540	80	6180	6500	KIGAM-OTg100007
69.27	-	-	wood	6470	50	7280	7460	BETA270514
76.29	-	-	wood	8980	80	9780	10260	KIGAM-OTg100008
77.13	77.09	77.17	shell	9490	60	10210	10490	BETA270516
88.44	-	-	Plant fragment	10010	90	11240	11960	KIGAM-OTg100010
93.44	-	-	wood	10380	100	11830	12570	KIGAM-OTg100012
99.18	-	-	Plant fragment	10740	120	12410	12930	KIGAM-OTg100014
103.50	-	-	wood	11050	120	12660	13170	KIGAM-OTg100016
104.49	-	-	wood	10740	100	12430	12900	KIGAM-OTg100018
109.82	-	-	wood	11060	100	12680	13150	KIGAM-OTg100021
112.62	112.61	112.62	wood	11300	100	12930	13380	KIGAM-OTg100023
118.51	-	-	Plant fragment	11800	100	13410	13850	KIGAM-OTg100025
124.49	-	-	wood	12390	90	14050	14990	KIGAM-OTg100027
131.38	-	-	Plant fragment	12640	100	14210	15450	KIGAM-OTg100029
139.17	139.16	139.17	wood	11980	130	13480	14130	KIGAM-OTg100031
141.45	-	-	wood	12050	140	13480	14490	KIGAM-OTg100032
142.08	-	-	wood	13490	150	15640	16960	KIGAM-OTg100033
151.36	-	-	wood	13730	60	16690	17040	BETA270515
153.62	-	-	wood	24940	320	29130	30490	KIGAM-OTg100035
154.82	-	-	wood	30510	510	34120	36420	KIGAM-OTg100036

GS-NIF-1 から採取した 46 点の木片と植物片は、名古屋大学において前処理を行った後に韓国地質資源研究院 (KIGAM) の加速器を用いて、その放射性炭素年代値を測定した。前処理は木片と植物片について、蒸留水中で超音波洗浄を繰り返し行い、付着物を取り除いた。その後、1 規定の HCl と NaOH を用いて二次的生成物を 80℃ で溶解除去し、真空乾燥させた。こうして前処理を行った試料は、酸化銅と共にバイコール管に真空封入した後、燃焼させて CO₂ を生成した (850℃, 2 時間)。木片と植物片の標準試料としたシュウ酸 (NIST HOxII と和光製特級試薬) も、同様に真空封入・燃焼させた。こうして生成した木片と植物片、標準試料の CO₂ は、精製後、鉄を触媒とした水素還元法 (Kitagawa et al., 1993) によってグラファイトにした。粉末状のグラファイトは、手動の圧縮装置を用いてターゲットとし、KIGAM のタンデム加速器を用いて放射性炭素年代値を測定した。測定した放射性炭素年代値は、Reimer et al. (2004) のデータセットと CALIB ver.5.0 (Stuiver and Reimer, 1993) を使用して、暦年代に較正した。なお、本研究では "BP" (同位体分別補正年代) と特筆しない限り、"cal BP" (較正年代) を使用する。

3. 堆積相と年代値

3.1 GS-NIK コア

GS-NIK からは 10 の堆積相が認定され、そのうち堆積相 NIF-2~9 は最終氷期最盛期にかけて形成された堆積相 NIF-1 に不整合に累重する沖積層と考えられる (第 3 図)。堆積相 NIF-10 は人工土壌からなる埋土である。本章では NIF-10 を除いた堆積相の記載と放射性炭素年代値、解釈を示す。

3.1.1 堆積相 NIK-1 (上部更新統の地層)

深度：163.0~150.56m

全体に河川堆積物からなる。深度 163.0~158.38m までは、トラフ型斜交層理が発達する中~粗粒砂層を主体としており河川チャネルの層相を示す。深度 158.38~150.56m は細粒砂層の薄層を挟在する砂質シルト層を主体とし、特に深度 155.0~152.0m の層位ではやや締まった腐植物層や腐植質シルト層が発達する泥質な氾濫原の環境を示す。本層位に含まれる植物片は、約 38.2~29.8cal kyr BP の年代値を示す。また、深度 153.38~153.37m に挟在する白色火山灰は、AT 火山灰に対比できる。

3.1.2 堆積相 NIK-2 (蛇行河川堆積物)

深度：150.56~142.40m

深度 150.56~146.0m は斜交層理が発達する中~粗粒砂層を主体としており河川チャネルの層相を示す。深度 146.0~142.40m は細粒~細粒砂層の薄層を挟在する泥層を主体とする。泥層は植物片を多く含み、泥質な氾濫原の環境を示す。本層位に含まれる植物片は、約 16.9~16.3cal kyr BP の年代値を示す。また、深度 146~149m の中粒砂層には軽石片が多く含まれる。これらの軽石片は、浅間火山起源の As-K 火山灰に対比できる。

3.1.3 堆積相 NIK-3 (淡水~塩水湿地堆積物)

深度：142.40~87.36m

深度 142.40~102.88m は主に砂質シルト層と極細粒~細粒砂層の互層からなり、生物擾乱痕の発達する層準が認められる。生物擾乱痕の発達の有無は、珪藻化石群集組成に基づく淡水湿地相と塩水湿地相に対応しており、5~6 回程度の淡水と塩水 (汽水) の環境の繰り返しを示している。深度 102.88~87.36m は生物擾乱痕の発達した砂質シルト~極細粒砂層と細~中粒砂層の互層からなる。本層位に含まれる植物片は、約 15~11cal kyr BP の年代値を示す。

3.1.4 堆積相 NIK-4 (外浜堆積物①)

深度：87.36~77.17m

比較的淘汰のよい細~中粒砂層で斜交層理や平行層理が認められる。淘汰のよい砂層は、波浪の影響を受けて砂層が堆積したことを示しており、下部外浜の環境を示している。本層位に含まれる植物片は、約 10cal kyr BP の年代値を示す。

3.1.5 堆積相 NIK-5 (沖浜堆積物①)

深度：77.17~50.40m

本層準基底の深度 77.17~77.00m は、シルト礫、貝化石片や細礫を多く含む不淘汰な極粗粒砂層からなる。基底は浸食面であり、層相の特徴から海進時の残留 (ラグ) 堆積物であると考えられる。深度 77.00~61.00m は、生物擾乱痕の発達した泥質な細粒砂層や極細粒~細粒砂層と砂質シルトの互層からなる。淘汰がよく斜交層理や平行層理が発達した細粒砂層を挟在することがある。生物擾乱痕の発達した泥質な細粒砂層は砂質シルトを挟在することから、定常的に波浪の影響を受ける深度よりは深い環境を示唆している。また、淘汰がよい斜交層理や平行層理が発達した細粒砂層は暴浪時にやや深い環境にもたらされたもので、定常的に波浪の影響を受ける深度よりは深い環境である。

第3図 GS-NIK コアの堆積相および放射性炭素同位体年代値.

Fig.3 Sedimentary column of the GS-NIF-1 core sediment.

ことを支持している。深度 61.00～50.40m は非常に生物擾乱の発達した泥質な極細粒砂層や砂質シルト層を主体としており、特に深度 52.00m 以浅は全体に腐植質な層相を示している。これらの層相は下位層準と比較して泥質であり、海進の進行により粗粒碎屑物がトラップされたことを示していると考えられる。本層位に含まれる植物片は、約 7.0～4.4cal kyr BP の年代値を示す。

3.1.6 堆積相 NIK-6 (沖浜堆積物②)

深度：50.40～21.77m

全体に生物擾乱痕の発達した中粒砂層からなる。基質はやや泥質であり定常的に波浪の影響を受ける深度よりはやや深い環境を示している。本層位に含まれる

植物片は、約 3.2～2.5cal kyr BP の年代値を示す。

3.1.7 堆積相 NIK-7 (外浜堆積物②)

深度：21.77～11.00m

深度 21.77～21.67m は、貝化石片や中礫を含む淘汰の悪い粗粒～極粗粒砂層で基底は浸食面である。これらは残留堆積物の層相を示しており、後述のようにこの上位層準は下部外浜堆積物であることから、基底の浸食面はラビーンメント面、残留堆積物はラビーンメント堆積物と考えられる。深度 21.67～16.00m は、淘汰のよい中～粗粒砂層で斜交層理や平行層理が認められる。淘汰のよい砂層は、波浪の影響をうけて砂層が堆積したことを示しており、下部外浜の環境を示している。深度 16.00～11.00m は、淘汰のよい粗粒～

極粗粒砂層でトラフ型斜交層理が発達する。トラフ型斜交層理の発達する淘汰のよい砂層は、比較的高いエネルギーの波浪や流れによって作られる砂堆の累積によって形成される。これらは、静穏時波浪限界より浅い上部外浜の堆積物であると考えられる。本層位に含まれる植物片は、測定数が少ないが約 1.7cal kyr BP の年代値を示す。

3.1.8 堆積相 NIK-8 (前浜堆積物)

深度：11.00～10.00m

非常に淘汰のよい中～細粒砂層からなり、数度傾く平行葉理が発達する。平行葉理のユニットが下位の平行葉理のユニットを低角に切り込むように累重している場合もある。砂層の淘汰がよいことは、この砂層が定常的に波浪の影響を受けて堆積したことを示唆する。数度傾く平行葉理は前浜堆積物の特徴であり、前浜の堆積環境であると考えられる。

3.1.9 堆積相 NIK-9 (後浜堆積物)

深度：10.00～0.9m

やや淘汰のよい細～中粒砂層を主体とする。砂鉄の濃集した薄層や平行葉理がみられることがある。やや

淘汰がよく砂鉄による平行葉理がみられる砂層は、前浜側からもたらされた堆積物と考えられ、後浜堆積物の特徴を示す。上部は弱く斜交層理のみみられる細粒砂層であり、風成の砂丘堆積物と考えられる。この層準では測定に十分な量の年代試料が得られなかった。

3.1.10 堆積相 NIK-10 (表土)

深度：0.9～0.0m

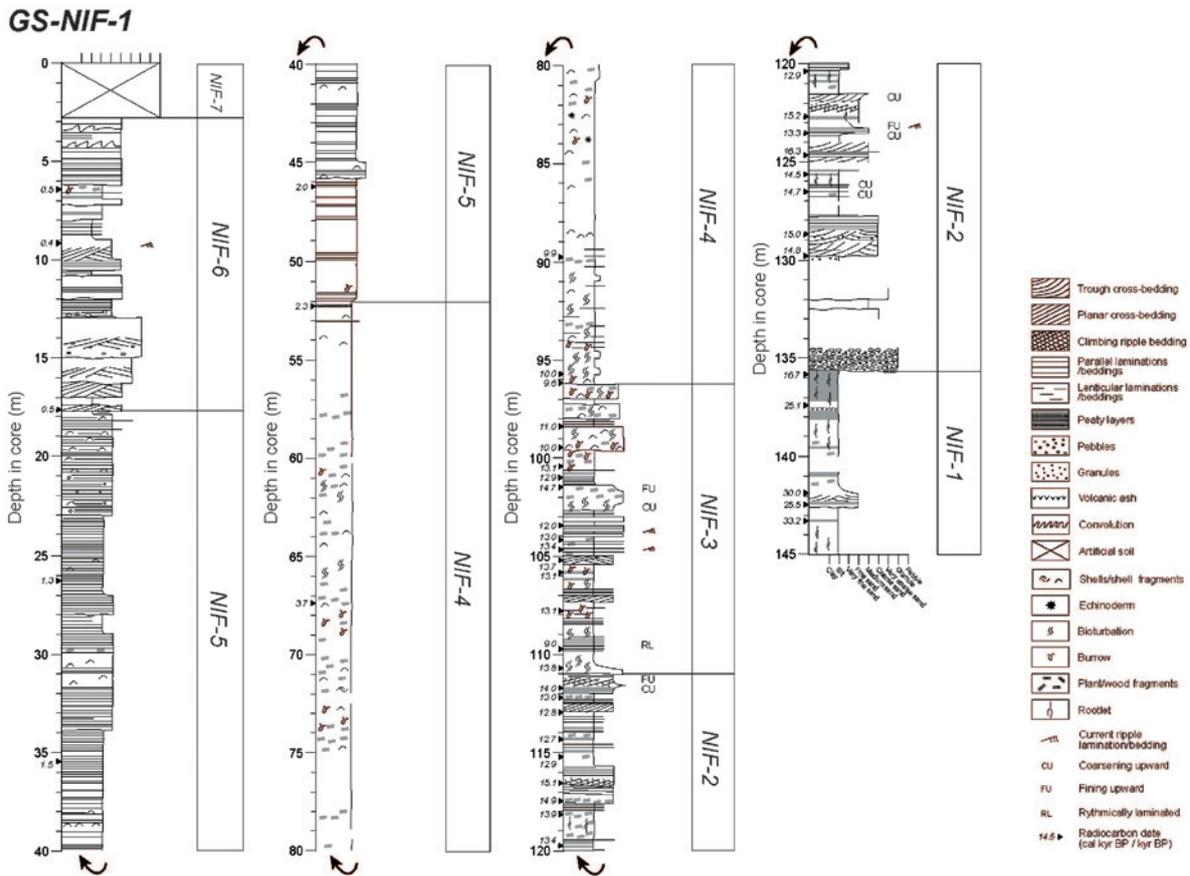
掘削地点は砂丘地を造成した部分であるため、表層は攪乱されている。

3.2 GS-NIF コア (新潟市中央区入船)

GS-NIF-1 からは 7 つの堆積相が認定され、そのうち堆積相 NIF-2～7 は最終氷期最盛期にかけて形成された堆積相 NIF-1 に不整合に累重する沖積層と考えられる (第 4 図)。堆積相 NIF-7 は人工土壌からなる埋土である。本章では NIF-7 を除いた堆積相の記載と放射性炭素年代値、解釈を示す。本コアの概略柱状図と年代値は第 5 図に示す。

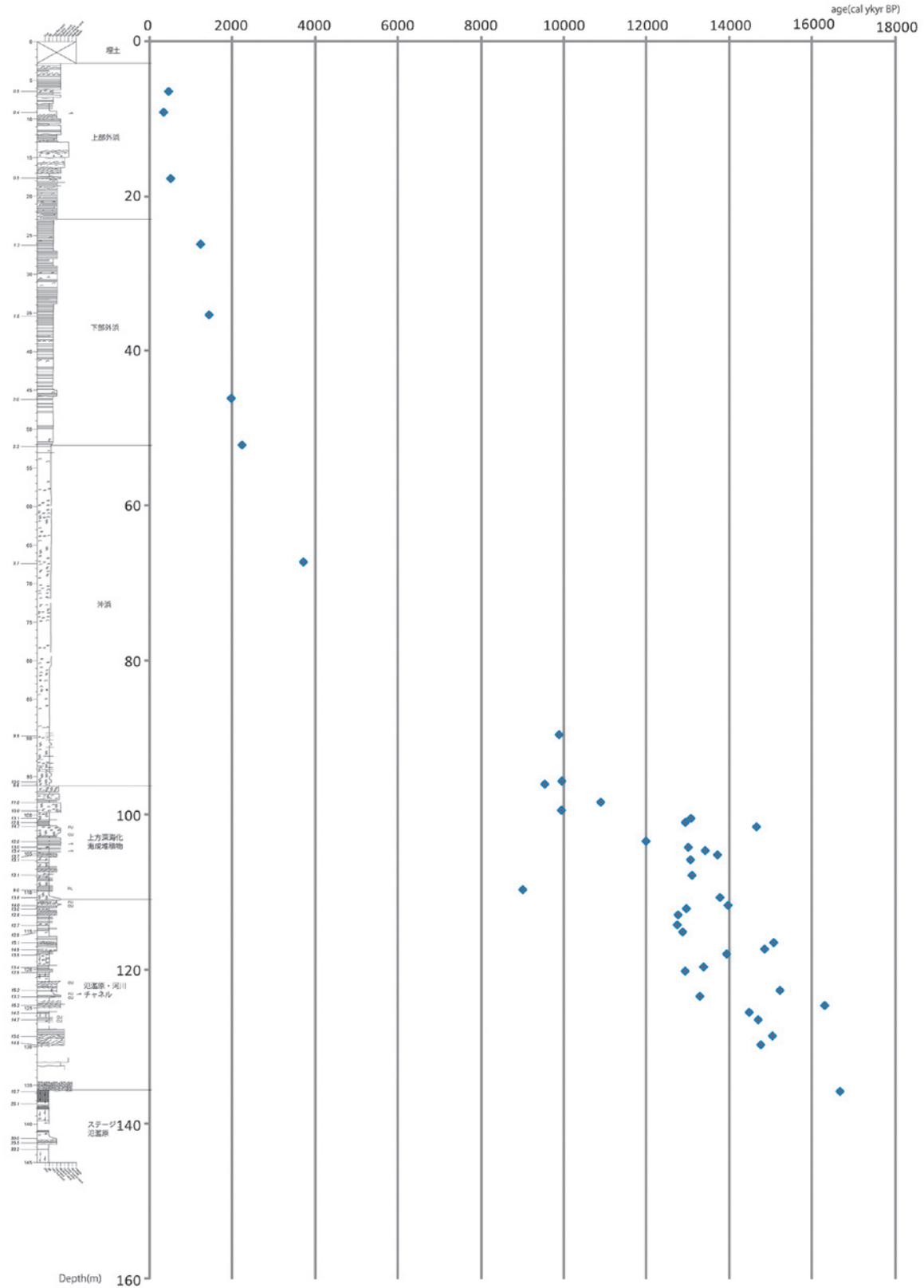
3.2.1 堆積相 NIF-1 (後背湿地堆積物)

深度：145.0～135.6m



第 4 図 GS-NIF コアの堆積相。

Fig.4 Sedimentary facies of the GS-NIF core.



第 5 図 GS-NIF の放射性炭素同位体年代.

Fig.5 Radio carbon age of the GS-NIF.

本堆積相は、植物根のみられる灰色のシルト層と泥炭層から構成される（第 6 図 a, b）。深度 137.6～137.5m には淡灰色の火山灰層がみられ、AT 火山灰と考えられる。本堆積相には、貝化石や生痕化石がみられず、植物根がみられることから、海水の影響のない、淡水の環境において堆積したと考えられる。また、泥炭層の存在は本堆積相が淡水性の氾濫原における後背湿地のような環境において形成されたことを示す。

本堆積相からは 30.0～25.1kyr BP と 16.7cal kyr BP の放射性炭素年代値が得られている。そのうち深度 141.9m から得られた年代値は再堆積したものと考えられる。

3.2.2 堆積相 NIF-2 (蛇行河川堆積物)

深度：135.6～110.9m

本堆積相は層厚がそれぞれ 1～3m の砂礫層と泥層の互層からなる（第 6 図 c, d）。砂礫層は中礫～細粒砂の粒径をもつ碎屑物から構成され、上方細粒化を示すことが多い。また、砂礫層は上方細粒化せずとも、その堆積構造が下位より、トラフ状斜交層理、緩やかに傾斜した平板状斜交層理、クライミング・リップル層理へと変化することがある。シルトの粒径をもつ碎屑物から構成される泥層中には、極細粒砂の平行層理や逆グレーディング構造、植物根、そして多くの木片と植物片がみられる。本堆積相には、貝化石や生痕化石がみられず、植物根がみられることから、海水の影響のない、淡水の環境において堆積したと考えられる。また、泥層中にみられる逆グレーディング構造は自然堤防帯の氾濫原洪水堆積物の示相となる堆積構造である（増田・伊勢屋, 1985）。上方細粒化する砂礫層や砂礫層内部の堆積構造の変化は、河川チャネルなどの埋積に伴い、流速が減少したことに起因すると考えられる。GS-NIF-1 では、このような氾濫原堆積物と河川チャネル堆積物が互層をなしていることから、河道の側方移動に伴う、河川チャネルから氾濫原への環境変化によって形成されたと考えられる。このような堆積相は蛇行河川において特徴的であり（Miall, 1992）、本堆積相は蛇行河川堆積物と解釈できる。

本堆積相からは 15.2～12.7cal kyr BP の放射性炭素年代値が得られている。しかし、その多くは再堆積したものと考えられる。深度 12.98, 126.6, 125.6, 123.6, 120.3, 114.3m から得られた年代値は堆積年代を示すと考えられる。

3.2.3 堆積相 NIF-3 (汽水から上方深海化する堆積物)

深度：110.9～96.2m

本堆積相は層厚が 1～3m の砂層と泥層の互層から構成され、貝化石や生痕化石、植物片が堆積相を通じて多く産出する。生痕化石は一部生物攪乱相を形成する（第 6 図 e）。砂層は細粒～中粒砂の粒径をもつ碎屑物から構成され、平板状斜交層理やカレント・リップル層理がみられる。泥層はシルトから構成され、局部的に極細粒～細粒砂とリズミカルな細互層を形成する（第 6 図 f）。本堆積相からは貝化石や生痕化石が産出することから、汽水から海水の環境において堆積したと考えられる。また、リズミカルな細互層は潮汐の影響を示す可能性がある（Reineck and Singh, 1980）。本堆積相は下位の NIF-2 と上位の NIF-4 と明瞭な境界面を持たずに接することから、蛇行河川から沖浜にかけた上方深海化相を形成すると考えられる。以上のことから、本堆積相は上方深海化する潮汐の影響した堆積物と解釈することができる。

本堆積相からは 14.7～10.0cal kyr BP の放射性炭素年代値が得られている。しかし、その多くは再堆積したものと考えられる。深度 103.5, 99.5m から得られた年代値は堆積年代を示すと考えられる。

3.2.4 堆積相 NIF-4 (沖浜堆積物)

深度：96.2～52.0m

本堆積相は塊状のシルト層～砂質シルト層から構成され（第 6 図 g, h）、シルト層中には貝化石やウニ、生痕化石が多くみられる。本堆積相にはシルトが卓越して分布することから、暴波時波浪水深限界よりも深い環境においてサスペンションによって形成されたと考えられる（Walker and Plint, 1992）。従って、本堆積相は沖浜堆積物と解釈することができる。

本堆積相からは 10.0～3.7cal kyr BP の放射性炭素年代値が得られている。そのうち、深度 96.1, 67.4 m から得られた年代値は堆積年代を示すと考えられる。

3.2.5 堆積相 NIF-5 (下部外浜堆積物)

深度：52.0～17.0m

本堆積相は貝化石を多く産出する淘汰の良い極細粒砂から構成され、局部的に細粒砂やシルトと互層をなす（第 6 図 i）。また、極細粒砂層には緩やかに傾斜した平板状斜交層理もしくは平行層理がみられる（第 6 図 j）。下位の堆積相 NIF-4 から連続的に粗粒化する本堆積相は下部外浜において堆積したと考えられ、淘

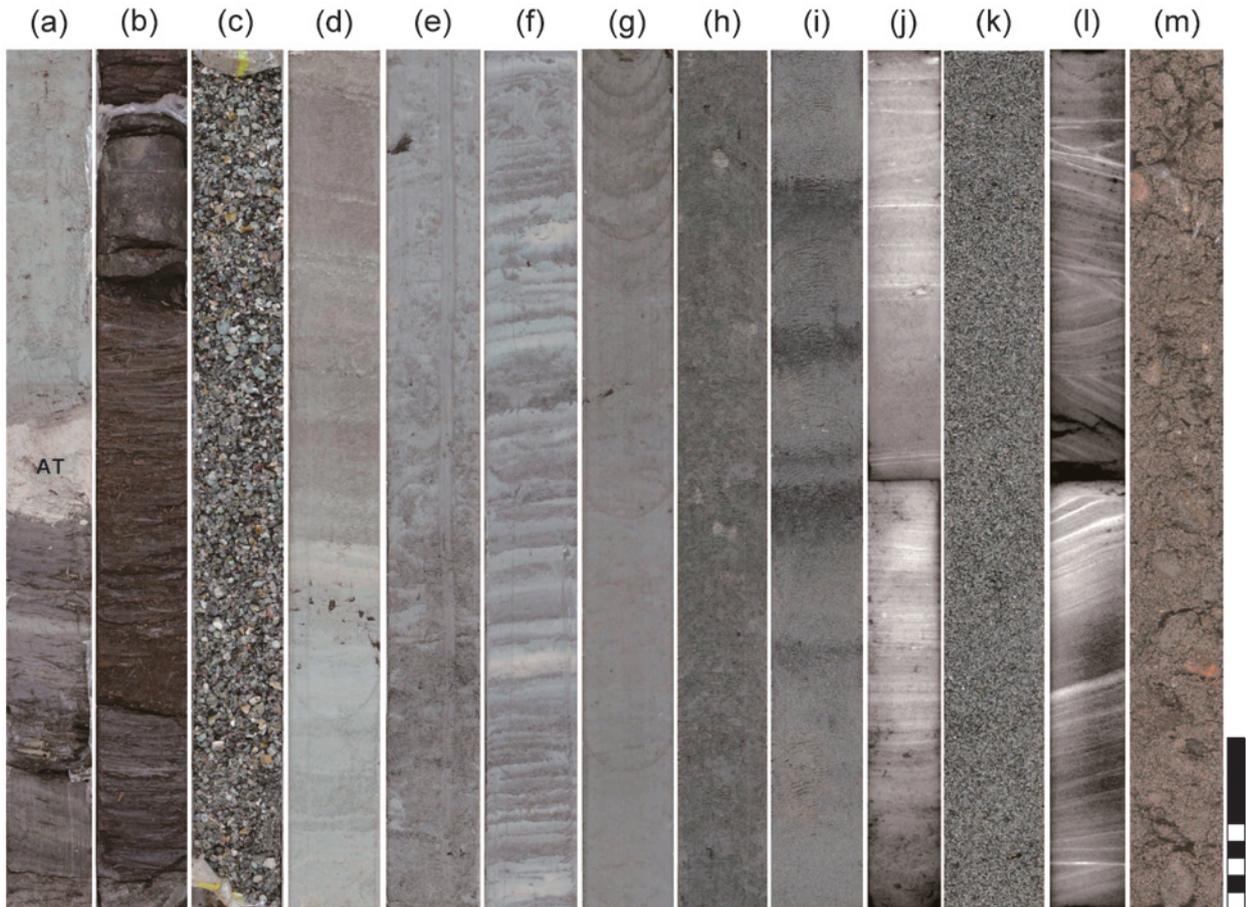
汰の良い砂層は暴波時に、泥層は晴天時にサスペンションによって堆積したと考えられる (Walker and Plint, 1992). 砂層中の緩やかに傾斜した平板状斜交層理はハンモック状斜交層理を示す可能性がある。

本堆積相からは 2.3~0.5cal kyr BP の放射性炭素年代値が得られている。それら年代値は全て堆積年代を示すと考えられる。

3.2.6 堆積相 NIF-6 (上部外浜堆積物)

深度: 17.0~2.8m

本堆積相は生痕化石を含む極粗粒砂~極細粒砂層から構成され (第 6 図 k), 一部シルト層を狭在する。砂層中にはトラフ状斜交層理 (第 6 図 l) やカレント・リップル層理がみられる。下位の堆積相 NIF-5 から連続的に粗粒化する本堆積相は上部外浜において堆積したと考えられる。粗粒な砂の多くは強い波浪によって



第 6 図 GS-NIF-1 の堆積相の写真。スケール、10cm。

(a) NIF-1, 掘削深度 137.90~137.40m, AT 火山灰層を境として黒色の泥炭質泥層から灰色のシルト層へと変化する。(b) NIF-1, 掘削深度 137.00~136.50m, 泥炭層。(c) NIF-2, 掘削深度 134.00~133.50m, 細礫層。(d) NIF-2, 掘削深度 120.50~120.00m, 灰色のシルト層と極細粒砂層。シルト層には植物根がみられる。(e) NIF-3, 掘削深度 110.70~110.20m, 生物攪乱をうけた青灰色の細粒砂~シルト層。(f) NIF-3, 掘削深度 109.70~109.20m, 極細粒砂とシルトのリズミカルな細互層。(g) NIF-4, 掘削深度 84.50~84.00m, 青灰色の塊状シルト層。(h) NIF-4, 掘削深度 57.80~57.30m, 塊状の砂質シルト層。(i) NIF-5, 掘削深度 38.60~38.10m, 青灰色の極細粒砂層と黒色のシルト層の互層。(j) NIF-5, 掘削深度 36.00~35.50m, 平行葉理のみられる極細粒砂層。軟エックス線写真 (陰画)。(k) NIF-6, 掘削深度 13.90~13.40m, 極粗粒砂層。(l) NIF-6, 掘削深度 16.75~16.25m, トラフ状斜交層理のみられる中粒砂層。軟エックス線写真 (陰画)。(m) NIF-7, 掘削深度 1.00~0.50m, 埋土。

Fig.6 Selected photographs of sedimentary facies identified in the GS-NIF-1 core sediment. Scale bar, 10 cm.

(a) NIF-1, 137.90?137.40 m depth in core, black-colored peaty mud bed turns into gray-colored silt bed bounded by AT volcanish ash bed (AT). (b) NIF-1, 137.00?136.50 m depth in core, peat bed. (c) NIF-2, 134.00?133.50 m depth in core, granule bed. (d) NIF-2, 120.50?120.00 m depth in core, gray-colored silt bed and very fine sand bed. Rootlets occur in the silt bed. (e) NIF-3, 110.70?110.20 m depth in core, bioturbated bluish gray-colored fine sand to silt bed. (f) NIF-3, 109.70?109.20 m depth in core, thin alternation of very fine sand and silt. (g) NIF-4, 84.50?84.00 m depth in core, bluish gray-colored massive silt bed. (h) NIF-4, 57.80?57.30 m depth in core, massive sandy silt bed. (i) NIF-5, 38.60?38.10 m depth in core, alternation of bluish gray-colored very fine sand bed and black-colored silt bed. (j) NIF-5, 36.00?35.50 m depth in core, parallel laminated very fine sand bed. Radiograph (negative). (k) NIF-6, 13.90?13.40 m depth in core, very coarse sand bed. (l) NIF-6, 16.75?16.25 m depth in core, trough cross-stratified medium sand bed. Radiograph (negative). (m) NIF-7, 1.00?0.50 m depth in core, artificial soil.

堆積したと考えられる。通常、波浪の卓越した海浜システムでは、上部外浜において最も波浪の水力が強いので、粗粒な碎屑物が堆積する (Walker and Plint, 1992)。従って、本堆積相は上部外浜において形成されたと考えられる。

本堆積相からは 0.5 と 0.4cal kyr BP の放射性炭素年代値が得られており、そのうち 0.4cal kyr BP の年代値が堆積年代を示すと考えられる。

4. 珪藻化石と堆積環境

珪藻化石分析は主として海水の浸入状況を把握する目的で、YA コア(108 試料)、GS-NAK-1 コア(59 試料)、GS-KNM-1 コア(85 試料) および GS-NIK-1 コア(65 試料) で実施した。なお、GS-KNM-1 コアについては、平成 20 年度に実施した結果を含めて記述する。

4.1 分析方法

試料の処理は、過酸化水素水によって泥化・漂白を行う方法 (鹿島, 1985) に従って実施し、プレパラートに定量封入した。殻片の算定は原則として 10 × 100 倍の視野で 200 殻片に達するまで行ったが、1 枚のプレパラートで 50 殻片に達しない試料はそこで算定を打ち切った。また、検鏡した行数から 1 枚のプレパラート中の殻片数を算定し、懸濁水の希釈割合から、乾燥試料 1mg 当りの殻片数を算出した。1mg 中の殻片数は、VR: 10 殻片未満, R: 10~99, C: 100~999, A: 1,000~9,999, VA: 10,000 殻片以上とした。種の同定は Hustedt (1930a, 1930b-1966), Krammer and Lange-Bertalot (1986-1991), Witkowski et al. (2000) を用い、分類体系は Round et al. (1990) に従った。また、種の生態 (海水生種, 海~汽水生種, 汽水生種, 汽~淡水生種, 淡水生種) は、Vos and de Wolf (1993) のほか、小林ほか (2006)、加藤ほか (1977) など日本の現生種の生態に関する多数の文献を参考とした。

4.2 YA コアにおける珪藻化石群集の特徴と堆積環境

出現する珪藻種組成の変化をもとに、コア毎に珪藻化石による地層区分を実施した。以下に、各区分の特徴とそれに基づく堆積環境について述べる。

YA コアでは上位から YA-A~YA-E の 5 つに区分される (第 7-a 図)。

4.2.1 YA-A 区分 (深度 1.7m~23.38m)

1mg 中の殻片数は全般的には C と普通である。淡

水生種が卓越し、5%以下の海・汽水生種 (海水種+海~汽水生種+汽水種で示す、以下同様) を含む。全般に淡水種の *Synedra ulna*, *Encyonema minutum*, *Cymbella turgidula*, *Gomphonema angustum*, *Gomphonema parvulum*, *Fragilaria vaucheriae*, 汽~淡水種の *Cocconeis placentula*, *Rhopalodia gibberula* などの付着生種が卓越する。*Aulacoseira* 属, *Cyclotella* 属などの浮遊生種群は低率である。淡水で水域があまり広くない湿地や池沼の環境が推定される。また、深度 6.3m, 9.1m, 10.2m, 10.7m, 23.38m は淡水付着生の *Eunotia* 属が 19~45.5% を占め、やや酸性水域の湿地や池沼の環境が推定される。さらに、深度 5.2m は淡水付着生種の *Tabellaria* 属 (*Tabellaria fenestrata* と *Tabellaria flocculosa*) が 47.5%, *Eunotia* 属が 39% を占め、湿原の環境が推定される。一方、深度 4.2m は汽水浮遊生種の *Cyclotella striata* を 3% 含み、深度 14.66m は *Rhopalodia gibberula* が優占種となることから、これらの層準ではやや海水の影響を受けた可能性がある (第 7-a 図の YA-8, YA-9)。

4.2.2 YA-B 区分 (深度 24.58m~26.08m)

1mg 中の殻片数は C~A と比較的多い。淡水付着生種の *Cymbella* 属, *Encyonema* 属, *Gomphonema* 属, *Synedra ulna* に富むものの、淡水湖沼要素の *Achnanthes biasoletiana*, *Achnanthes linearis*, *Achnantheidium minutissimum*, *Placnothidium lanceolatum* などが比較的多く出現する。海・汽水生種は 0.5% と少ない。潟湖末期の池沼の環境が推定される。

4.2.3 YA-C 区分 (深度 28.20m~52.30m)

1mg 中の殻片数は VR~C と一般的に少ない。20~80% の海・汽水生種の出現で特徴付けられる (第 7-a 図の YA-7)。上部 (深度 28.20~39.70m) と下部 (深度 48.92~52.30m) では、海~汽水底生種の *Diploneis smithii* が卓越し、海~汽水底生種の *Tryblionella granulata* を伴う。そのほか海~汽水底生種の *Diploneis suborbicularis*, *Navicula formenterae*, *Pinnularia yarrensensis*, 海水浮遊生種の *Thalassionema nitzschioides*, 淡水付着生種の *Synedra ulna* などを伴う。一方、中部 (深度 40.80~47.52m) は *Thalassionema nitzschioides* が多く、海生浮遊生種の *Coscinodiscus marginatus*, *Neodenticula seminae*, *Thalassiosira excentrica*, 汽~淡水付着生種の *Rhopalodia gibberula*, 淡水付着生

種の *Synedra ulna* などを少量伴う。堆積相や古地理的な状況から、潟湖の環境で、中部で最も海の影響が大きかったことが推定される。

4.2.4 YA-D 区分 (深度 53.02m~96.82m)

1mg 中の殻片数は C~A と比較的多い。一般的に淡水付着生種の *Cymbella* 属, *Encyonema* 属, *Fragilaria vaucheriae*, *Gomphonema* 属, *Synedra ulna*, 汽~淡水付着生種の *Cocconeis placentula* などが多く, 汽~淡水底生種の *Gyrosigma* 属の 2 種 (*Gyrosigma acuminatum* と *Gyrosigma scalproides*) の出現ピークが数回認められる。また, 海・汽水生種の *Thalassionema nitzschioides*, *Diploneis smithii*, *Diploneis suborbicularis*, *Gyrosigma distortum* などを数~20%含む。一般的には, 河口など海水の影響をわずかに受ける沼沢地や池沼の環境が推定される。海・汽水生種や *Gyrosigma* 属の出現ピークが認められる層準 (第 7-a 図の YA-2~YA6) は, より海水の影響が大きかったものと考えられる。さらに, 深度 75.08m と深度 91.46m では, 淡水付着生の *Eunotia* 属 (*Eunotia bilunaris* が多く, *Eunotia praerupta*, *Eunotia minor*, *Eunotia pectinalis* がこれに次ぐ) が 30~35% と高率で, 酸性水域の湿地や池沼の環境が出現したものと考えられる。

4.2.5 YA-E 区分 (深度 103.66m~119.56m)

1mg 中の殻片数は C~A と比較的多い。種構成は上位の YA-D 区分に類似するものの, *Gyrosigma* 属は低率である。また, 1 層準を除いて海・汽水生種の出現率は 5%以下である。一般的に淡水で, 水域があまり広くない湿地や池沼の環境が推定される。ただ, 深度 104.16m は *Thalassionema nitzschioides* を 27.5% 含み, 一時的に海水の影響を受けたものと考えられる (第 7-a 図の YA-1)。さらに, 深度 114.88m は *Eunotia* 属を 27.5% 含み, 酸性水域の湿地の環境が出現したことが推定できる。

4.3 GS-NAK-1 コアにおける珪藻化石群集の特徴と堆積環境

GS-NAK-1 コアでは上位から NAK-A~NAK-C の 3 つに区分される (第 7-b 図)

4.3.1 NAK-A 区分 (深度 50.74m~83.49m)

1mg 中の殻片数は一般的には C と普通である。一般的に淡水付着生種の *Cymbella* 属, *Encyonema* 属, *Gomphonema* 属, *Synedra ulna* などが多く, 汽~淡水底生種の *Gyrosigma* 属の 2 種 (*Gyrosigma*

acuminatum と *Gyrosigma scalproides*) の出現ピークが 3 回認められる。また, 海水浮遊生種の *Thalassionema nitzschioides* を数~20%含む。海・汽水生種は上部 (深度 51.81~52.94m) で海~汽水底生種の *Diploneis smithii*, *Diploneis suborbicularis*, *Tryblionella granulata* などを多く含むほかは低率で, 海~汽水底生種の *Gyrosigma distortum* や *Navicula formenterae*, 汽水浮遊生種の *Cyclotella striata* などがわずかに出現する程度である。海水表層水が流入しやすい河口付近の池沼や沼沢地の環境が推定される。海・汽水生種に富む深度 51.81~52.94m (第 7-b 図の NAK-6) や, *Gyrosigma* 属の出現ピークが認められる層準 (第 7.2 図の NAK-3~NAK-5) は, 比較的海水の影響が大きかったものと考えられる。

4.3.2 NAK-B 区分 (深度 84.14m~101.64m)

1mg 中の殻片数は一般に A~C と多い。種構成は上位の NAK-A 区分に比較して, *Gyrosigma* 属や *Thalassionema nitzschioides* が低率である。*Synedra ulna* が多くの深度で優占種となり, そのほか, *Cocconeis placentula*, *Cymbella turgidula*, *Encyonema minutum*, *Gomphonema angustatum*, *Hannaea arcus*, *Luticola mutica*, *Rhopalodia gibberula* などの付着生種を一般に伴う。一般的に淡水で, 水域があまり広くない湿地や池沼の環境が推定される。ただ, 深度 88.15~89.35m, 深度 92.90~93.71m では, 汽水浮遊性種の *Cyclotella striata*, 汽水底生種 *Diploneis pseudovalis*, 汽~淡水底生種の *Gyrosigma scalproides* が低率ながら含まれ, 若干の海水の影響があったものと考えられる (第 7-b 図の NAK-1~NAK-2)。

4.3.3 NAK-C 区分 (深度 102.36m~105.19m)

沖積層基盤の上部更新統に相当する。1mg 中の殻片数は VR で非常に少ないか, 産出しない。わずかの淡水種からなる。

4.4 GS-KNM-1 コアにおける珪藻化石群集の特徴と堆積環境

GS-KNM-1 コアでは上位から KNM-A~KNM-C の 3 つに区分される (第 7-c 図)。

4.4.1 KNM-A 区分 (深度 26.95~68.26m)

殻片数は R~VR で非常に少ない。海生浮遊生種の *Thalassionema nitzschioides* が比較的多く含まれる。そのほか, 海生種では浮遊生種の *Coscinodiscus marginatus*, *Thalassiosira lineata*, *Thalassiosira*

excentrica, 付着生種の *Rhaphoneis amphiceros*, 海～汽水浮遊生種の *Actinocyclus normanii*, 淡水生種では *Aulacoseira granulata* や *Synedra ulna* が含まれる。 *Thalassionema nitzschioides* が比較的多いことから, 淡水が流入する沿岸の海水域の環境が推定される。堆積相の沖浜, 下部外浜, 上部外浜に相当する。

4.4.2 KNM-B 区分 (深度 69.74～113.90m)

殻片数は一般に R～C と比較的小さい。淡水種 (汽～淡水種を含む) と海・汽水生種が混合して出現する。淡水種では *Synedra ulna* が最も多く, 多くの深度で優占種となる。そのほか, 淡水付着生種の *Cymbella turgidula*, *Encyonema minutum*, *Gomphonema angustum*, *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia palea*, *Rhopalodia gibba*, 汽～淡水付着生種の *Rhopalodia gibberula*, 汽～淡水底生種の *Navicula cryptocephala*, *Gyrosigma acuminatum* などが多く出現する。海・汽水生種では海～汽水底生種の *Tryblionella granulata*, *Diploneis smithii*, *Diploneis suborbicularis*, *Navicula formenterae*, *Pinnularia yarrensii* が多く, 浮遊生種は低率である。海・汽水生種の出現にはいくつかのピークが認められる。特定の環境が安定せず, 海水と淡水がせめぎあうような河口域の沼沢地の環境が推定される。また, 海・汽水生種の出現ピークは, 明瞭な海水の浸入を示すものと考えられる (第 7-c 図の KNM-1～KNM-6)。一方, 深度 109.83m には殻片数が VA と非常に多く, 汽～淡水付着生種の *Pseudostaurosira brevistriata* (50.5%) が優占し, *Staurosirella pinnata* (30.6%) が随伴する群集が出現し, 一時的に富栄養止水域 (池沼) の環境が存在したことも推定される。

4.4.3 KNM-C 区分 (深度 114.52～148.13m)

殻片数は一般に C と普通である。ほとんどが淡水種から構成される。全般的に多い種は付着生種の *Cocconeis placentula*, *Encyonema minutum*, *Fragilaria capucina* var. *rumpens*, *Fragilaria vaucheriae*, *Gomphonema angustum*, *Gomphonema parvulum*, *Reimeria sinuata*, *Rhopalodia gibberula*, *Synedra ulna*, 底生種の *Achnantheidium minutissimum*, *Navicula cryptocephala* などである。 *Aulacoseira* 属や *Achnanthes* 属などの湖沼種群は低率である。淡水の池沼や沼沢地の環境が推定される。また, 深度 126.20m では *Eunotia* 属の *Eunotia bilunaris* (17%) および *Eunotia minor* (14%) 高率で出現し, 酸性水域の湿地の環境が出現したことも推

定される。

4.5 GS-NIK-1 コアにおける珪藻化石群集の特徴と堆積環境

GS-NIK-1 コアでは上位から NIK-A～NIK-D の 4 つに区分される (第 7-d 図)。

4.5.1 NIK-A 区分 (深度 60.66～90.20m)

殻片数は R～VR で非常に少ない。海生浮遊生種の *Thalassionema nitzschioides* が比較的多く含まれる。そのほか海生種では浮遊生種の *Cocconeis marginatus*, *Neodenticula seminae*, *Thalassiosira excentrica*, 淡水生種では *Synedra ulna* や *Encyonema minutum* が含まれる。 *Thalassionema nitzschioides* が多いことから, 淡水が流入する沿岸の海水域の環境が推定される。堆積相の沖浜や下部外浜に相当する。

4.5.2 NIK-B 区分 (深度 91.18～138.60m)

殻片数は一般に C～A と比較的多い。淡水種 (汽～淡水種を含む) と海・汽水生種が混合して出現する。淡水付着生種の *Cymbella turgidula*, *Encyonema minutum*, *Gomphonema angustum*, *Reimeria sinuata*, *Synedra ulna*, 汽～淡水付着生種の *Cocconeis placentula*, *Rhopalodia gibberula* などが多く出現する。また, 汽～淡水底生種の *Gyrosigma* 属の 2 種 (*Gyrosigma acuminatum* と *Gyrosigma scalproides*) の出現ピークが 6 回認められる。海・汽水生種では海生浮遊生種の *Thalassionema nitzschioides* が数～20%出現するほか, 海～汽水底生種の *Tryblionella granulata*, *Diploneis smithii*, *Diploneis suborbicularis*, *Navicula formenterae* などが低率で出現する。ただ, 深度 97.80～98.43m では, *Diploneis* 属や *Tryblionella granulata* と共に海水付着生種の *Cocconeis suctellum* が 30～40%と高率で出現する。また, 深度 132.60m では汽～淡水浮遊生種の *Thalassiosira bramaputrae* (14.5%) や汽水浮遊性種の *Cyclotella striata* (9%) がやや多く出現する。全般的に特定の環境が安定せず, 海水と淡水がせめぎあうような河川下流 (河口) の環境が推定される。海・汽水生種や *Gyrosigma* 属の 2 種の出現ピークは, 相対的に海水の影響が大きかったことを示すものと考えられる (第 7-d 図の NIK-1～NIK-6)。

4.5.3 NIK-C 区分 (深度 139.78～150.60m)

殻片数は一般に C～A と比較的多い。ほとんどが淡水種から構成される。全般的に多い種は付着生

種の *Encyonema minutum*, *Fragilaria vaucheriae*, *Gomphonema olivaceum*, *Gomphonema parvulum*, *Hannaea arcus*, *Hantzschia amphioxys*, *Rhopalodia gibberula*, *Synedra ulna* などである。Aulacoseira 属などの湖沼浮遊種や湖沼に一般的な *Achnanthes* 属は低率である。淡水の池沼や沼沢地の環境が推定される。

4.5.4 NIK-D 区分 (深度 152.20m~154.90m)

沖積層基盤の上部更新統に相当する。1mg 中の殻片数は R~A と変化に富む。淡水種が多く、*Eunotia* 属、*Pinnularia* 属、*Gomphonema* 属が多く、NIK-A~NIK-C 区分には出現しない *Diploneis elliptica* や *Diploneis yatukaensis* も低率ながら見られる。また、深度 153.58m には海~汽水種の *Gyrosigma distortum* や *Tryblionella levidensis* がわずかながら含まれる。全般に淡水の池沼の環境が推定されるが、一時期海水の影響を受けたことも考えられる。

4.6 海水の浸入を示す珪藻指標種群について

新潟平野西縁部における、海進面形成以前 (16~9.4 千年) の堆積物 (河川氾濫原相, 湿地相, 塩分湿地相) 中の珪藻化石群集は、上部更新統と沖積層の最下部を除いて、淡水種 (汽~淡水種を含む) と海・汽水種の混合群集からなる。これらのなかで、特定の種群の出現ピークが複数回認められ、海水浸入の有効な指標となる可能性がある。

一つは *Tryblionella granulata*, *Diploneis smithii*, *Diploneis suborbicularis*, *Navicula formenterae*, *Pinnularia yarrensii*, *Cocconeis scutellum* からなる海~汽水種群 (底生・付着生種) の出現ピークである。*Tryblionella granulata* は Marine brackish epipelon (移動底生種) に区分され (Vos and De Wolf, 1993), 海水泥質干潟指標種群 (塩分濃度が 12%以上の水域の泥底に付着生活する種群) に属する (小杉, 1988)。*Diploneis suborbicularis* は海水泥質干潟指標種群の代表種とされている (小杉, 1988)。*Diploneis smithii* は一般に海~汽水種とされている (Hustedt, 1955: 加藤ほか, 1977: Vos and De Wolf, 1993) が、現生種は淡水域にも分布するとされる (小林ほか, 2006)。鹿島 (1986) は *Diploneis smithii* を *Cocconeis scutellum* とともに Mb 種群 (塩素イオン濃度が 10 パーミルを越すような高塩分汽水の湖沼などに生息する) に含めている。新潟平野の白根地域の出現状況 (安井ほか, 2001) をみると、*Diploneis smithii* は *Tryblionella granulata* と共産し、

有孔虫の出現する深度で多産することから、ほぼ海~汽水域に生息していたものと推定できる。*Navicula formenterae* と *Pinnularia yarrensii* は生態の詳細な報告が少ないが、海水~汽水域のみに出現するとされる (Witkowski et al, 2000: 加藤ほか, 1977)。以上の生態情報から、この種群の出現ピーク層準 (NAK-6, KNM-1~KNM-6, NIK-1, NIK-6) は、比較的塩分濃度の高い汽水域の存在を示すものと推定される。

もう一つは *Gyrosigma* 属の 2 種 (*Gyrosigma acuminatum* と *Gyrosigma scalproides*) の出現ピークである。この層準では、*Diploneis smithii* などの海~汽水種群は低率か出現しない。両種は日本の現生種の研究では、淡水種とされることが多い (小林ほか, 2006: 渡辺, 2005)。しかし、Hustedt (1930a) では汽~淡水種とされ、Vos and de Wolf (1993) はオランダの完新統の情報から、*Gyrosigma acuminatum* を Marine brackish epipelon としている。また、新潟平野沖積層では、これら 2 種は海~汽水種 (たとえば *Diploneis smithii*, *Diploneis bombus* など) が低率で出現する層準に多産している (安井ほか, 2001: Yabe et al., 2004)。したがって、*Gyrosigma* 属の 2 種の出現ピーク層準 (YA-1~YA-6, NAK-2~NAK-5, NIK-2~NIK-5) は、比較的塩分濃度の低い汽水域の存在を示すものと推定される。

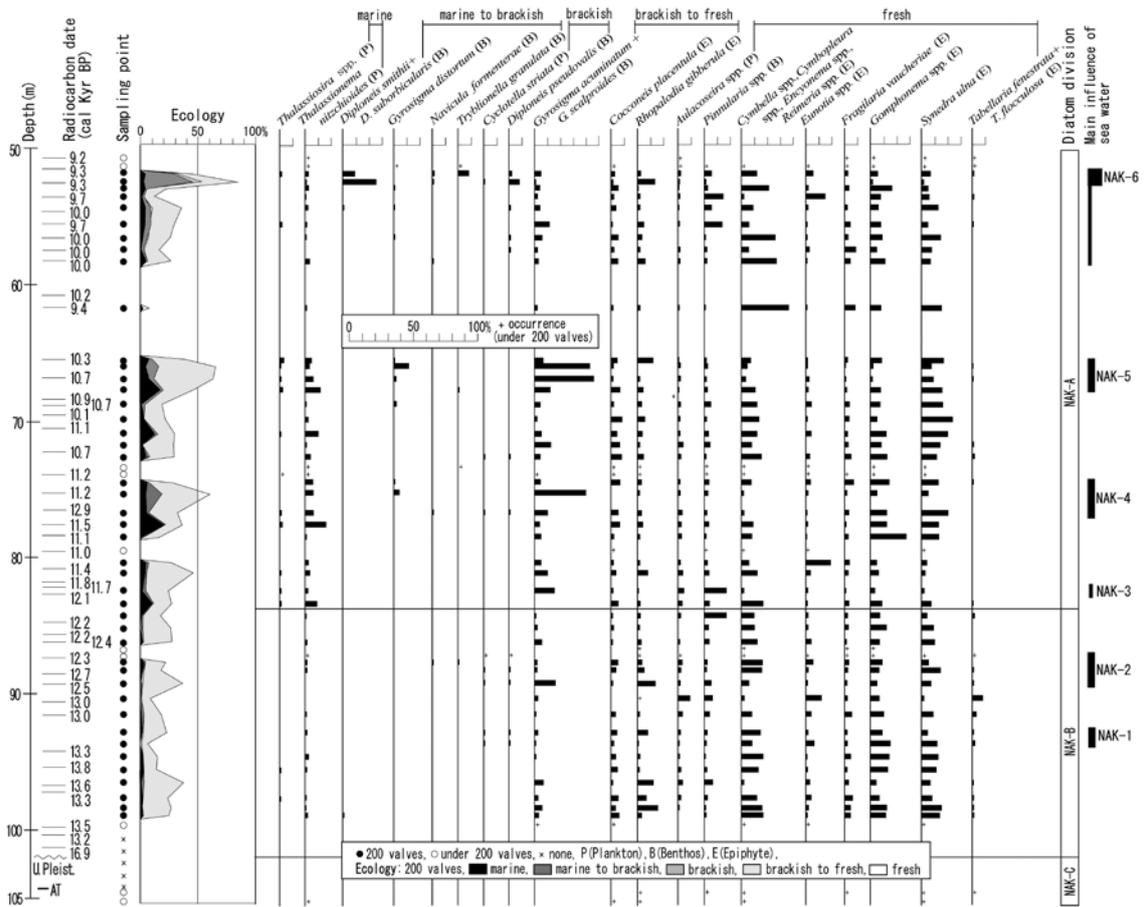
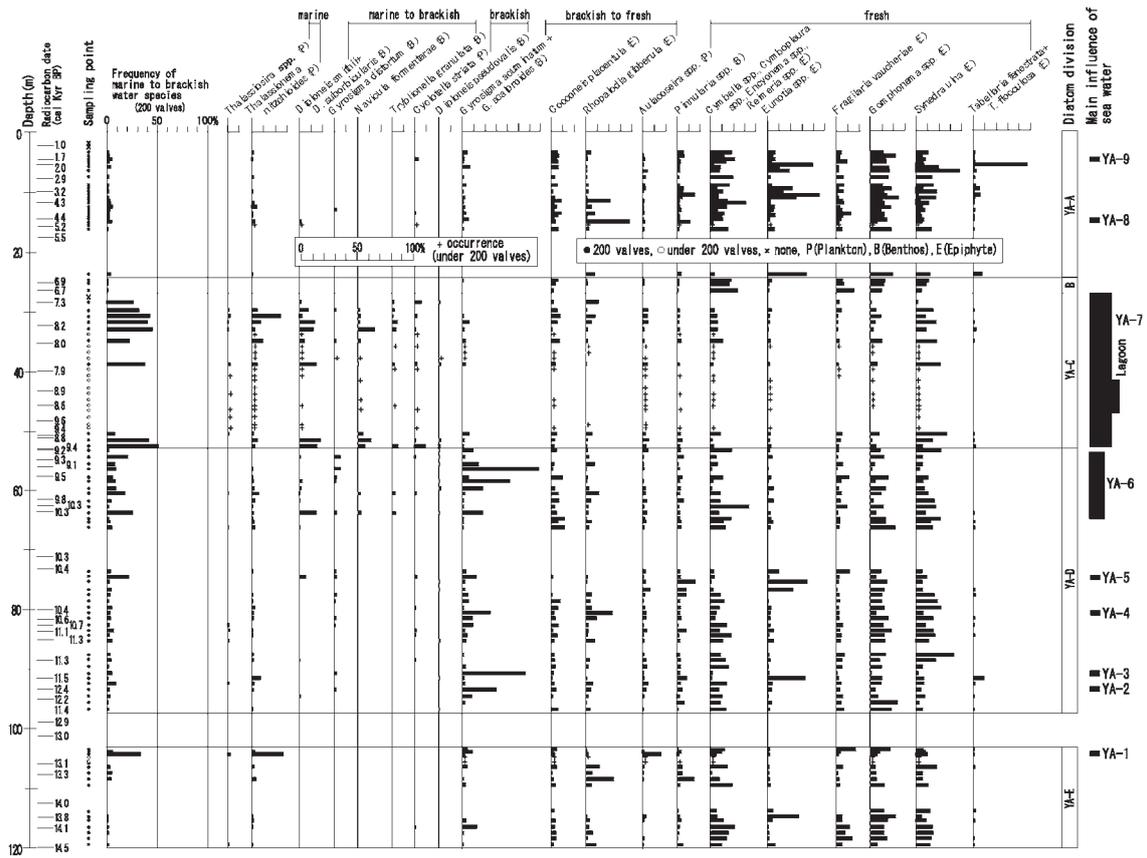
5. 密度と含水比

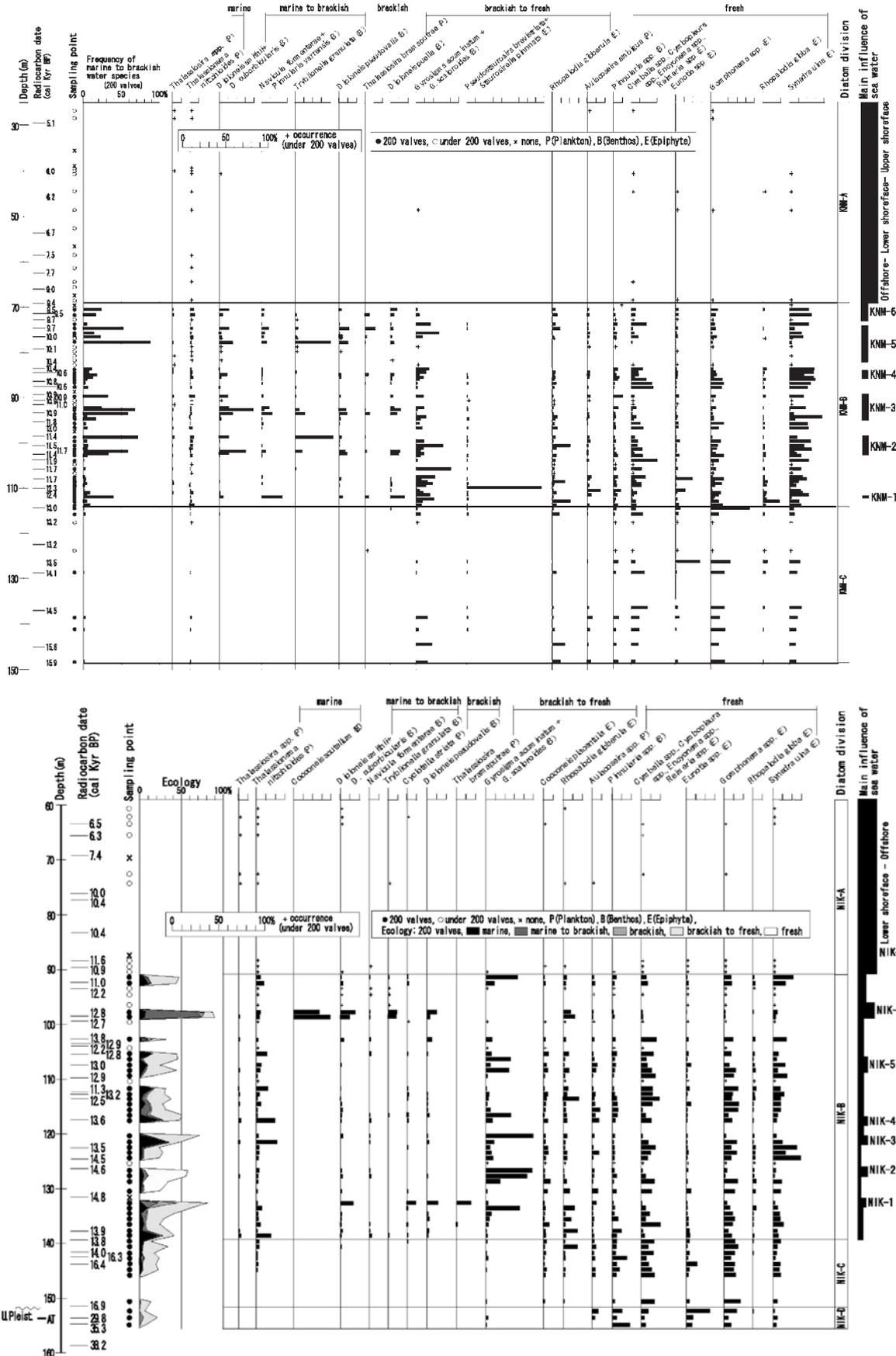
密度及び含水比は、コア試料 25cm から 50cm ごとに 7cc の帯磁率測定用のキューブに試料をサンプルし、この湿潤重量をその場で測定した。この湿潤重量を 7cc で割って湿潤密度を求めた。これを乾燥したものの重量を測定し同様に乾燥かさ密度を求めた。湿潤かさ重量と乾燥かさ重量の差から含水比を求めた。その結果については第 8 図に示す。

5.1 GS-NIK コアの密度と含水比

GS-NIK コアは下位より更新統からなる NIK-1, 蛇行河川堆積物からなる NIK-2, 淡水~塩水湿地堆積物よりなる NIK-3, 外浜堆積物からなる NIK-4, 沖浜堆積物からなる NIK-5, 6, 外浜堆積物からなる NIK-7, 前浜堆積物からなる NIK-8, 後浜堆積物からなる NIK-9 及び埋立表土からなる NIK-10 に分けられる。

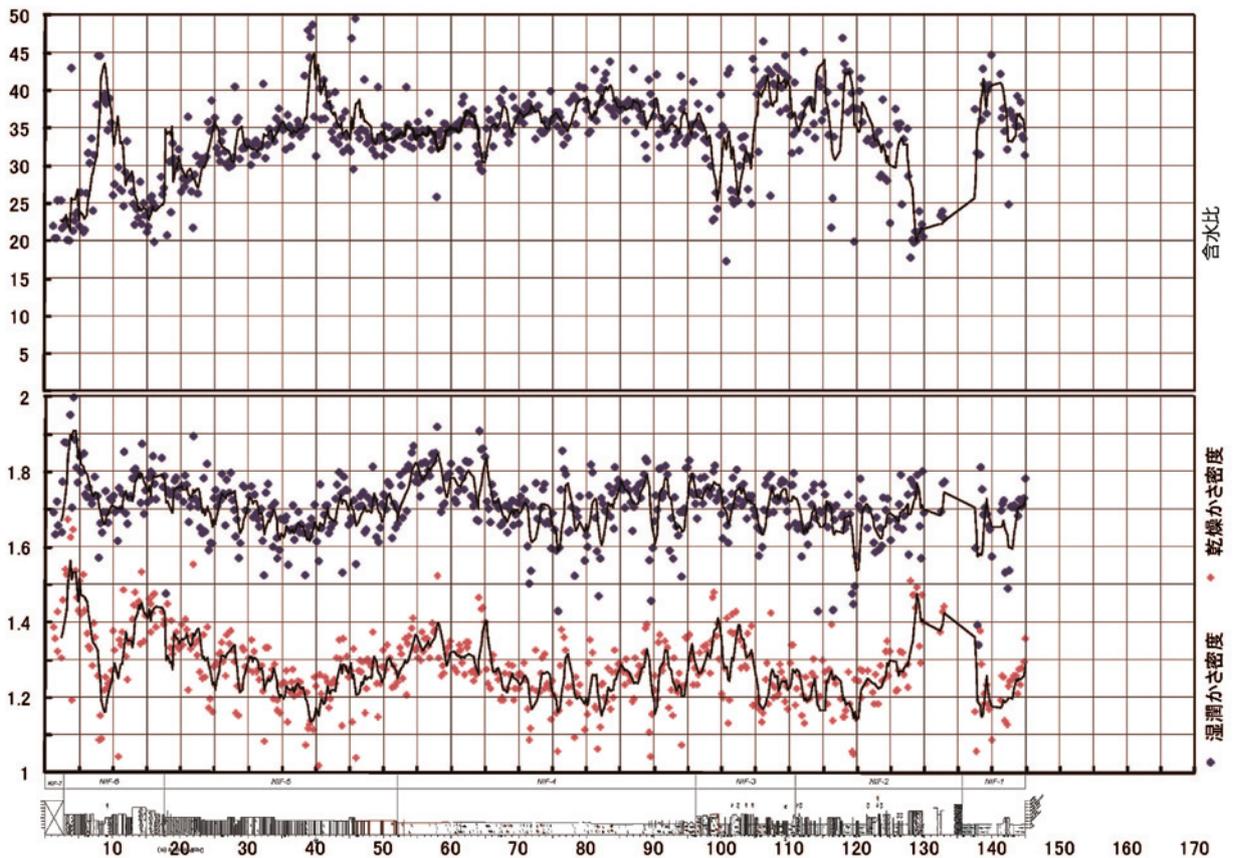
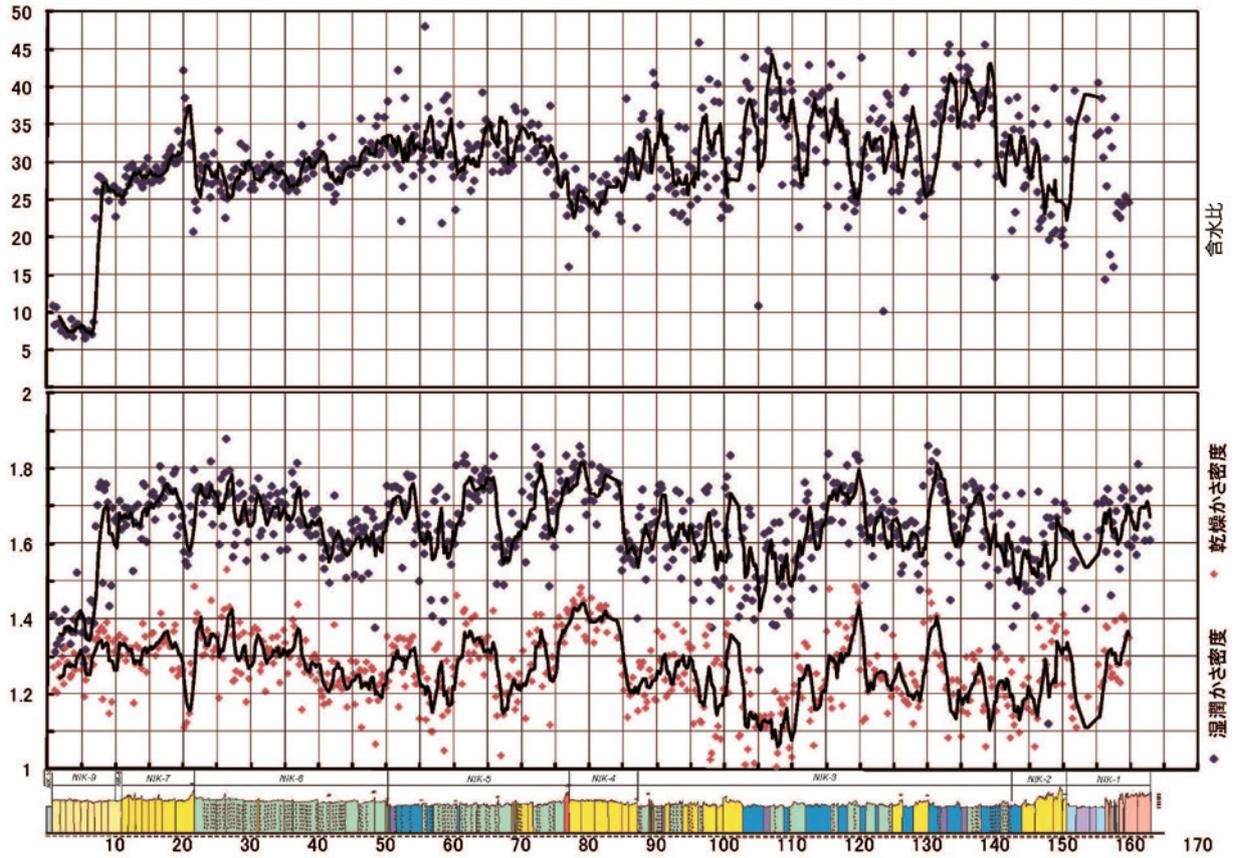
GS-NIK コアの密度は、第 8-a 図に示すとおりである。NIK-1 では砂層では 1.7 程度、泥層では 1.6 程度と大きく層相によって密度が異なる。NIK-2 は粗粒堆





第7図 珪藻化石群集組成と堆積環境の変遷 (a: 鑑潟コアの珪藻化石群集, b: GS-NAK 鑑潟コアの珪藻化石群集, c: GS-KNM コアの珪藻化石群集, d: GS-NIK コアの珪藻化石群集)。

Fig.7 Stratigraphic distribution of ecology, frequency of some distinctive diatom species of genera and diatom division (a: Ya core, b: GS-NAK core, c: GS-KNM core, d: GS-NIK core).



第 8 図 ボーリングコアのキューブ試料から測定した湿潤かさ密度と含水率 (a : GS-NIK, b : GS-NIF).

Fig.8 Bulk densities and water contents of the GS-NIK and GS-NIF core.

積物であるにもかかわらず 1.5-1.6 と低い。これは採取時のみだれによる可能性もある。NIK-3 では 1.5-1.7 と差が大きい。塩成の珪藻化石が算出する層準では、1.5-1.6 と低く、それ以外の層準では 1.6-1.8 となっている。NIK-4 の砂層では 1.8 程度と高くなる。NIK-5 では上部ほど細粒になるため密度が小さくなり、NIK-6 では 1.7-1.8 と上部ほど密度が高くなる。NIK-7~9 では 1.7 程度であるが、上部ほど密度が小さくなる傾向がある。

5.2 GS-NIF コアの密度と含水比

GS-NIF コアの密度は、第 8-b 図に示すとおりである。GS-NIF コアは、下位より更新統からなる NIF-1、河川成層よりなる NIF-2、蛇行河川から沖浜にかけての潮汐の影響のある中での深海化のシークエンスを持つ NIF-3、沖浜層からなる NIF-4、下部外浜堆積物からなる NIF-5、上部外浜堆積物からなる NIF-6 に区分される。

GS-NIF コアでは、NIF-1 では湿潤かさ密度は 1.6-1.7g/cm³、NIF-2 ではばらつきはあるものの 1.7g/cm³ 程度、NIF-3 では 1.7-1.8g/cm³ 程度と深い堆積環境になるに伴って密度は高くなる傾向がある。NIF-4 では泥質になることから密度は小さくなる。深度 95m から 80m までは 1.7g/cm³ から 1.65g/cm³ と徐々に密度が下がり、80m より浅いところでは再び上部ほど上昇し 1.8g/cm³ となる。NIF-5、6 では再び 1.65g/cm³ まで密度が下がり、砂層では密度は大きく泥層で小さくなる。全体としては上部ほど上昇し 1.65 から 1.8g/cm³ となる。含水比については大きくは密度と逆相関があり、NIF-1 で 30-40、NIF-2 では上方の粘性土ほど含水率が高くなり 30-45 となる。NIF-3 から 4 にかけては深くなるほど含水比が高くなり、深度 100m 程度で 25-80m で 40 と最も高くなり、その上部では浅くなると共に含水比も小さくなり深度 55m 程度で 33 程度になる逆くの字型になる。その上位の NIF-5 から 6 では NIF-6 に挟まれる泥質部をのぞいてさらに含水比が小さくなり最上部では含水比 20 程度になる。

6. 反射法探査

反射法の測線は四ッ郷屋浜から内野上新町を経て新潟県水産海洋研究所までの国道 402 号線に沿った歩道で実施した。より浅部の地層の変形を知ること、その断層の活動性を評価するために必要不可欠な

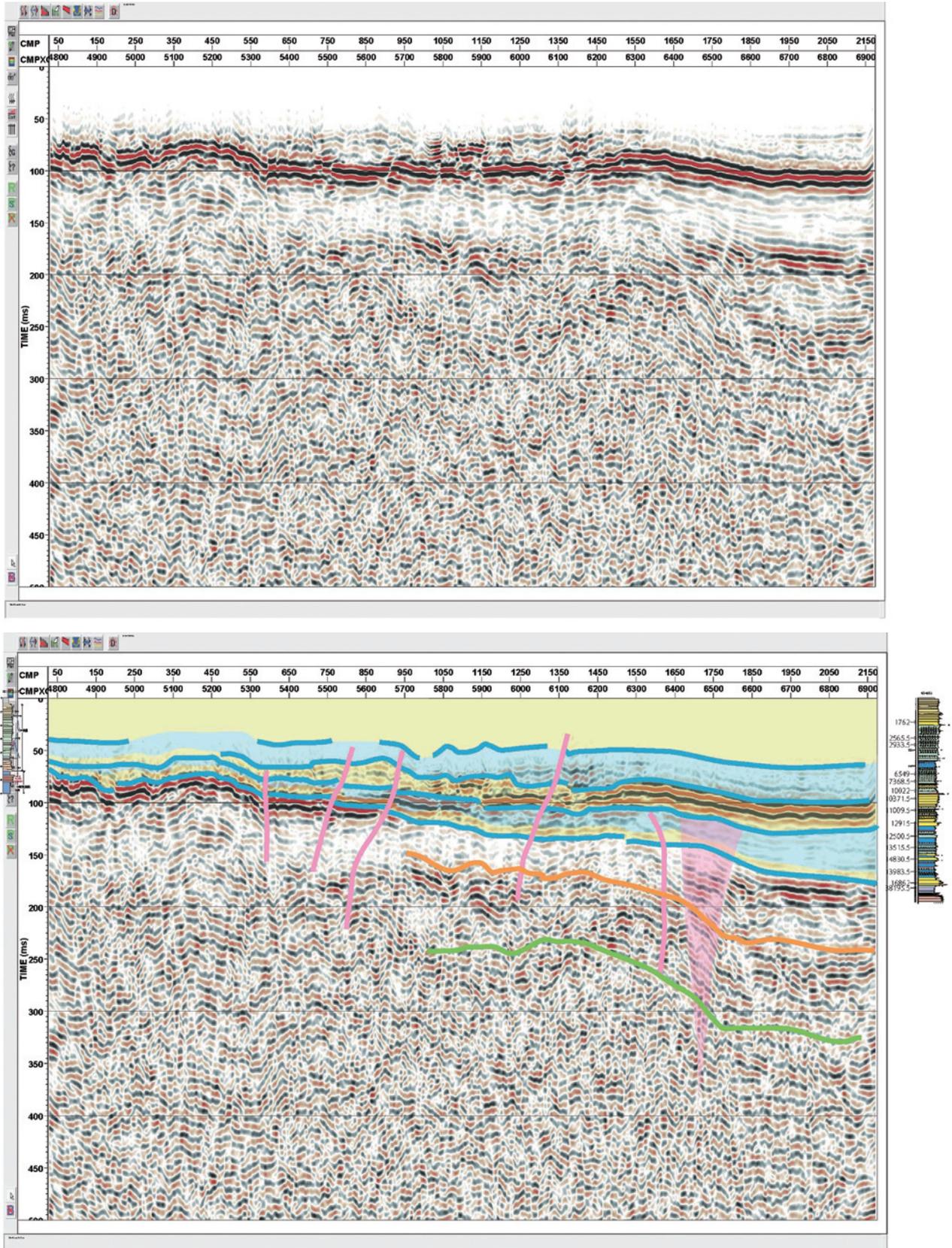
情報である。このような浅部詳細地盤構造情報を得るためには、測定間隔を密にし、高周波領域の信号を取り扱う高分解能浅層反射法地震探査が有効である。この問題を解決するため、稲崎 (1992) は、ケーブルと地震計を一体化したツールである「ランドストリーマー」を考案し、交通量の多い都市域でも高品質の記録断面が得られることを示した (稲崎, 1997)。新潟平野西縁においては、S 波ランドストリーマーによって詳細な地下地質構造の解明を行っている (稲崎・加野, 1999)。本則線は平成 20 年度に本プロジェクトで行った浅部地下構造調査の一部である (山口ほか, 2009)。山口ほか (2009) では、地震計間隔を 2m とし、全体の地質構造の解明を行った。本調査では、より地下浅部の地下地質構造の解明を目的として行った。本調査では、このうち断層に近い測線長 2150m の区間で海岸までの距離は 200-300m の地点で観測を行った。主要な諸元を第 2 表に示す。受信には 144ch のランドストリーマーを用い、受信機は間隔 1m とした。発信は、ドロップヒッターを用い、発信はランドストリーマーの西端から 1m 西で発信した。国道 402 号線は交通量が多く車両ノイズを避けるため交通の途絶えたタイミングで発信した。また、途中で堆肥工場があり、この低周波のノイズは避けることができなかった。探査の使用は第 2 表に示す。

この探査記録を第 9a 図に示す。全体として反射面は 300-350ms 程度まで確認できる。特に強い反射面は、測線東端部の 1750-2150m 地点で 160-170ms 程度の深さに強い反射面があり、いくつかの小断層でずれながら西に向かって浅くなり、測線西端付近では 70-100ms の深さに強い反射面が見られる。西部ではこの反射面はうねった面を形成しており、350-550m 地点で高まりを作っている (第 9b 図)。断層上盤側に見られるこのような高まりは、本則線南方の新潟県西区赤塚地区でもみられている (稲崎ほか, 2010)。一方、測線東部で 90-110ms の深さにも強い反射面が見られ、これもうねりながら、中央部で前述の強い反射面の上に重なる。

7. 考察

7.1 海域の侵入と断層活動時期

角田弥彦断層は、平均変位速度 2.8-4m/千年で活動していることが平成 20 年の調査でわかった (宮地ほか, 2009)。海岸に近いボーリングコアの解析の結果、新潟平野の沖積層は、16,000 年前から 13,500



第 9 図 GS-PLS 反射法探査断面図 (a) およびその解釈 (b).

Fig.9 a stacked time section(a) and an interpreted depth section(b) along GS-PLS line.

第2表 GS-PLS 反射法探査の概要。

Table 2 Fields parameter for Land Streamer reflection surbeys.

測線名	GS NG LS1
測線長	1200m程度
発振点間隔	2m
発振点数	300
振源	ドロップヒッタ
垂直重合数(標準)	8回を原則とする
受振点間隔	1m
同時受振点数	144
サンプル間隔	0.25msec
記録長	1sec

年前まで河川成から沼沢地のような環境で堆積し、現在の海岸に近いところでは 15,000 年前から、内陸でも 13,500 年前以降約 10,000 年前まで塩成と淡水成の湿地環境を繰り返している（第 10a 図）。更に 9,200 年前ごろに海水準が最高に上昇した頃沖浜環境となる。その後 YA コアと GS-KNM コアの間にバリアシステムが形成され、YA コア側では潟湖の環境に、海側では外浜システムから前浜、後浜と浅くなり、現在の砂丘堆積物となる。珪藻分析から湿地環境の時期に数度の塩成湿地環境と淡水成の湿地環境の繰り返しが見られる。このことは湿地環境のなかでスパイク的に海水が流入していることを示している。スパイク的な海水の流入の原因としては、融氷パルスのような海水準の上昇（Bard et al., 1996, Tanabe et al., 2009 など）と地震活動による平野の沈降によることの 2 つが考えられる。今回、この海水準上昇の時期を 14.8, 14.5, 13.2, 12.5, 11.5, 11.0, 10.5 及び 9.5 千年に認められた（第 10b 図）。このうちいくつかは海水準上昇の可能性もあるが、約 1,000 年以内に沈降が繰り返されていた可能性がある。

7.2 反射法探査断面と GS-NIK コアの対比

今回実施した高分解能 P 波反射法探査において、第 9b 図のような断面が得られた。この断面と GS-NIK コア及び四ツ郷屋コアを対比すると、明瞭な反射面である東部で 300-350ms から西部で 160-170ms に撓曲する反射面は沖積層基底面に対比される。また、測線東部で 70-100ms の反射面は NIK-3 の外浜の砂層に対比される。測線東部の 100-300ms の層は西部では撓曲ながらせん滅している。この層は GS-NIK では約 15-9 千年前の塩水性～淡水性の湿地が繰り返す環境の地層にあたり、これがせん滅することはこの地層

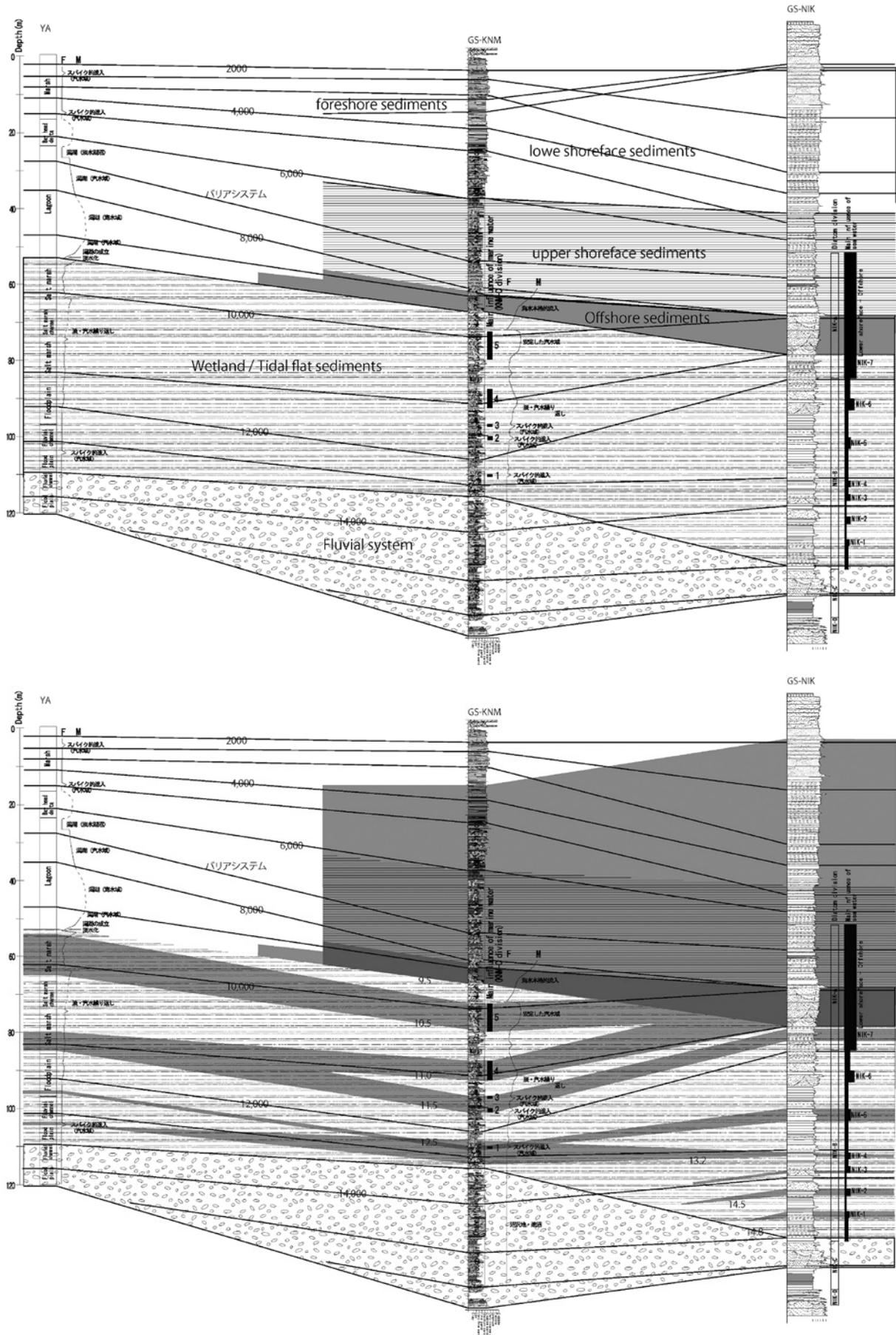
が断層運動によって沈み込んだときに海水が流入するという堆積環境変化が起こることと整合的である。

8. まとめ

本研究により、新潟平野の沖積層は、16,000 年前から 13,500 年前まで河川成から沼沢地のような環境で堆積し、15,000 年前～13,500 年前以降約 10,000 年前まで塩成と淡水成の湿地環境を繰り返している。更に 9,200 年前ごろに海水準が最高に上昇した頃沖浜環境となる。その後バリアシステムが形成され、YA コア側では潟湖の環境に、海側では外浜システムから前浜、後浜と浅くなり、現在の砂丘堆積物となる。

角田弥彦断層は、平均変位速度 2.8-4m/千年で活動しており、塩成～淡水成の湿地環境を繰り返していた 15,000 年前から 9,500 年前の間は約 1,000 年おきに活動を繰り返していた可能性がある。この断層により新潟平野は中心部が沈み込み、全体として西に傾く構造となっている。

海岸のランドストリーマー探査の結果、数枚の明瞭な反射面を確認した。これらをボーリングデータと対比すると、約 16,000 年前の沖積層基底層、10,000 年前から 8,000 年前の海進堆積物（沖浜層基底）、及び約 5,000 年前の下部外浜層と上部外浜層境界に明瞭な反射面が見られる。これらの反射面の一部は海域にもつながり、海陸の地質構造を総合的に理解するうえで重要な情報となる。



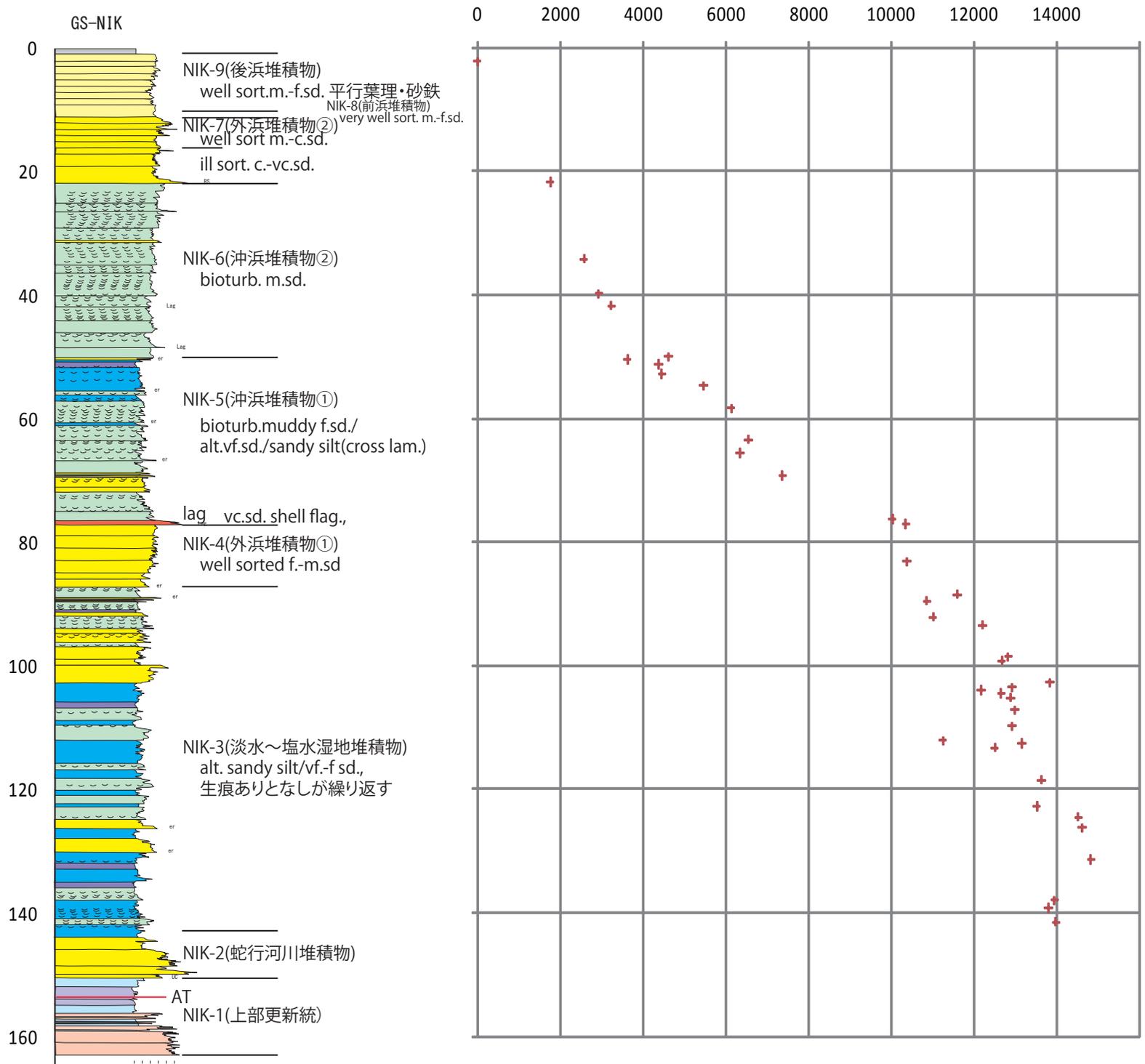
第 10 図 海岸線に直交した方向に同じ時間面，堆積環境で対比したボーリングコア。
Fig.10 Isochron of the Chuseki-so across the coastal line.

文献

- Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L., Cabioch, G., Faure, G., Rougerie, F. (1996) Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge, *Nature*, 382, 241-244.
- Hustedt, F. (1930a) Die Susswasser-flora Mitteleuropas. Helf 10: Bacillariophyta (Diatomeae). 466pp., Gustav Fischer, Jena.
- Hustedt, F. (1930b-1966) Die Kieselalgen. Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz, unter Berücksichtigung der ubrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete, 1 Teil : 920pp., 2 Teil : 845pp., 3 Teil : 816pp., Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- Hustedt, F. (1955) Marine littoral diatoms of beaufort, North Carolina. Durham, North Carolina. 51pp., Duke University Press.
- 池田安隆・宮内崇裕・渡辺満久・佐藤比呂志・今泉俊文・高田圭太 (2002) 新潟平野周辺の断層帯, 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 124-146.
- 稲崎富士 (1992) 地盤調査技術の開発. 地下空間利用技術の開発報告書, 第3分冊, 建設省, 2-26.
- 稲崎富士 (1997) 断層調査法の開発. 大都市地域における地震防災技術の開発 土木部会研究報告書, 建設省土木研究所, 68-77.
- 稲崎富士・加野直巳 (1999) 高分解能 S 波反射法及びサイスミックコーン貫入試験による角田・弥彦断層群の浅部構造調査. 平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書 (地質調査所速報 no. EQ/99/3), 59-68.
- 稲崎富士・宮地良典・卜部厚志・楳原京子 (2010) 高分解能反射法地震探査による新潟市赤塚地区における越後平野西縁断層の浅部変形構造イメージング. 平成 21 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 本報告書.
- 石山達也・佐藤比呂志・今泉俊文・鈴木毅彦・戸田茂・越後智雄・小池太郎・鎌滝孝信 (2009) 角田山東縁断層における高精度浅層反射法地震探査と群列ボーリング調査. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会講演要旨, J245-P012.
- 楳原京子・稲崎富士・卜部厚志・宮地良典 (2010) 長岡平野西縁断層帯における浅層反射法地震探査-新潟市松野尾地区の地下構造. 平成 21 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 本報告書.
- 加野直巳・山口和雄・栗田泰夫 (1999) 角田・弥彦断層群の P 波反射法地震探査. 活断層・古地震研究調査概要報告書, EQ/99/3, 47-58.
- 鹿島 薫 (1985) 銚子半島高神低地の完新世における珪藻群集の推移と古海水準. 第四紀研究, 24, 125-138.
- 鹿島 薫 (1986) 沖積層中の珪藻遺骸群集の推移と完新世の古環境変遷. 地理学評論, 59, 383-403.
- 加藤君雄・小林 弘・南雲 保 (1977) 八郎潟調整池のケイソウ類. 八郎潟調整池生物相調査会報告, 63-137.
- 小林巖雄 (1996) 越後平野地下の第四系. 第四紀研究, 35 (3), 191-205.
- 小林 弘・出井雅彦・真山茂樹・南雲 保・長田敬五 (2006) 小林弘珪藻図鑑, 第 1 巻. 531pp., 内田老鶴圃, 東京.
- 小杉正人 (1988) 珪藻の環境指標種群の認定と古環境復原への応用. 第四紀研究, 27, 1-20.
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radiocarbon*, 35, 295?300.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986-1991) Susswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae, 1 Teil : 876pp., 2 Teil : 610pp., 3 Teil : 576pp., 4 Teil : 437pp., Gustav Fischer, Verlag, Stuttgart.
- 増田富士雄・伊勢屋ふじこ, 1985, “逆グレーディング構造”: 自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造. 堆積学研究会報, no. 22/23, 108?116.
- Miall, A. D. (1992) Alluvial Deposits. In: Walker, R.G. and James, N.P. eds., *Facies Models: response to sea level change*. Geol. Assoc. Canada, 119?142.
- 宮地良典・中西利典・卜部厚志・田辺 晋・稲崎富

- 士・安井 賢・小松原 琢・水野清秀 (2009) ポーリングコア解析による角田・弥彦断層の活動度評価. 平成 20 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 101-120.
- 仲川隆夫 (1985) 新潟平野の上部更新統・完新統—とくに沈降現象との関係について—. 地質学雑誌, 91 (9), 619-635. 中西利典・宮地良典・ト部厚志・田辺 晋・安井 賢 (2010) ポーリングコア解析による新潟市西部における角田・弥彦断層の活動度評価, 活断層研究, 32, 9-25.
- 新潟市史編さん自然部会 (1991) 新潟市史 自然編, 12, 新潟市, 367p.
- 新潟県地盤図編集委員会編 (2002) 新潟県地盤図および新潟県地盤図説明書. (社) 新潟県地質業協会, 66pp+4 図.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 26?0 ka BP. Radiocarbon, 46, 1029?1058.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B. (1980) Depositional Sedimentary Environments. Springer-Verlag, 551p.
- Round, F. E., Crawford, R. M. and Mann, D. G. (1990) The Diatoms. Biology and morphology of the genera. 747pp., Cambridge University Press, Cambridge.
- 産業技術総合研究所 (2009) 活断層データベース 2009 年 7 月 23 日版. 産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB095, 産業技術総合研究所.
- 下川浩一・栗田泰夫・佐竹健治・吉岡敏和・七山太・荻谷愛彦・小松原 琢・羽坂俊一・重野聖之 (1997) 地形・地質調査 1. 科学技術振興調整費 日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究 (第 I 期平成 6~8 年度) 成果報告書, 科学技術庁, 67-84.
- 下川浩一・栗田泰夫・佐竹健治・吉岡敏和・七山太・荻谷愛彦・小松原 琢・羽坂俊一・重野聖之 (2000) 地形・地質調査 1. 日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究 (第 II 期平成 9~10 年度) 成果報告書, 科学技術庁, 65-85.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended ¹⁴C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. Radiocarbon, 35, 215?230.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., and Reimer, R. W (2005) CALIB 5.0. <http://calib.qub.ac.uk/calib/calib.html>
- Tanabe, S., Tateishi, M. and Shibata Y. (2009) The sea-level record of the last deglacial in the Shinano River incised-valley fill, Echigo Plain, central Japan. Marine Geology, 266, 223-231.
- Urabe, A., Takahama, N., Yabe, H. (2004) Identification and characterization of a subsided barrier island in the Holocene alluvial plain, Niigata, central Japan. Quaternary International, 115-116, 93-104.
- ト部厚志・安井 賢・稲葉 充・片岡香子・高濱信行・満田信一 (2006) 東新潟ガス田の中部更新統~完新統の層序—特に軽石層の特徴とその供給源—. 石油技術協会誌, 71 (4), 337-348.
- ト部厚志・渡部 俊・鈴木幸治・村尾治祐・高濱信行・渡部史郎・稲崎富士 (2007) 反射法弾性波探査による越後平野西縁断層帯の 1000 層構造調査. 第四紀研究, 46, 427-431.
- ト部厚志・宮地良典・稲崎富士・楮原京子 (2010) 新潟市竹野町地域の沖積層に記録された越後平野西縁断層の活動度評価. 平成 21 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 本報告書.
- Vos, P. C. and H. de Wolf (1993) Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. Hydrobiologia, 269/270 : 285-296.
- Walker, R.G. and Plint, A.G. (1992) Wave- and storm-dominated shallow marine systems. In: Walker, R.G. and James, N.P. eds., Facies Models:

- Response to Sea Level Change. Geol. Assoc. Canada, 219?238.
- 渡辺仁治 (2005) 淡水珪藻生態図鑑. 666pp., 内田老鶴圃, 東京.
- Witkowski, A., Lange-Bertalot, H. and Metzeltin, D. (2000) Diatom flora of marine coasts I . In Lange-Bertalot, Iconographia Diatomologica Annotated Diatom Micrographs, 7, 925pp., Koeltz Scientific Books.
- Yabe, H., Yasui, S., Urabe, A., Takahama, N. (2004) Holocene paleoenvironmental changes inferred from the diatom records of the Echigo Plain, central Japan. Quaternary International, 115-116, 117-130.
- 山口和雄・住田達哉・加野直巳・大滝壽樹・伊藤忍・横田俊之・横倉隆伸 (2009) 越後平野西部の沿岸陸域における浅部地下構造調査. 平成20年沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 37-44.
- 安井 賢・小林巖雄・鴨井幸彦・渡辺秀男・石井久夫 (2001) 越後平野中央部, 白根地域における完新世の環境変遷. 第四紀研究, 40, 121-136.
- 安井 賢・鴨井幸彦・小林巖雄・卜部厚志・渡辺秀男・見方功 (2002) 越後平野北部の沖積低地における汽水湖沼の成立過程とその変遷. 第四紀研究, 41, 185-197.



第3図