

霞ヶ浦湖底堆積物の重鉱物組成と供給源

鈴木泰輔* 斎藤文紀*

SUZUKI, T. and SAITO, Y. (1987) Heavy mineral composition and provenance of Holocene marine sediments in Lake Kasumigaura, Ibaraki, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 38(3), p. 139-164.

Abstract : Heavy mineral analyses were made for 101 samples, 40 from core (KB-4 bore hole) samples of marine sediments in Lake Kasumigaura and 61 from on land sand samples of Recent, Pleistocene, Cretaceous, and Paleozoic sediments which were exposed around the lake. Among the non-opaque heavy minerals in the core samples, hypersthene is the most abundant, common hornblende and augite are next. These three minerals compose more than 90% of the non-opaque heavy minerals in most samples. Zircon, epidote, zoisite, and garnet are common. A few grains of oxyhornblende, tourmaline, and titanite are observed in most samples. Relative abundance of the heavy minerals is almost consistent through the core from the top to about 50 meter deep. Heavy mineral assemblage of beach sands lying along central Kashimanada is quite similar to that of the marine sediments in Kasumigaura. It is known that Paleo-Kinu Bay, the predecessor of the present Kasumigaura, had opened its mouth widely at Kashimanada. Similarities of heavy mineral assemblage between the two areas, Kashimanada and Kasumigaura, suggest that sand material yielded by the coastal erosion and accumulated along the beach of Kashimanada were brought into the bay through the bay mouth by tidal current.

1. はじめに

国土の総合開発計画基本方針の一つとして、水系の総合的管理、水資源の保全・開発・有効利用があげられ、その計画推進のための基礎的調査研究の実施が要請されている。

地質調査所では、このため、昭和 56 年度から湖沼堆積物の調査技術に関する研究を取り上げ、茨城県霞ヶ浦その他の湖沼を対象に堆積物の運搬過程の解明にあたってきた。本研究はこの一環として実施されたものである。

調査対象とした霞ヶ浦の堆積物に関しては、これまでに試錐試料にもとづく土性調査や古地質学的研究(藤下ほか, 1967; 池田ほか, 1977; 遠藤ほか, 1983)と、古環境学的研究(井内, 1982; 井内ほか, 1983a-c; 新藤・前野, 1982; 斎藤, 1983)など多くの研究があるが、本論は、これらの論文では検討されていない、堆積物中の

重鉱物組成、分布と、その供給源・供給方向について考察したものである。

堆積物試料は、昭和 57 年度、地質調査所が実施した霞ヶ浦 KB-4 号試錐の柱状試料を用いた。試料は、海洋地質部井内美郎技官から提供を受けた。また、鹿島灘を中心とする海浜砂及び陸域各地の河床砂、更新統中・古生層砂岩など、比較検討試料の大部分は、環境地質部の磯部一洋、黒田和男両技官からそれぞれ提供されたものである。富士宝永火山降下火砕物層の模式試料採取については、日本大学の宮地直道氏に直接現地にて指導していただいた。また、鉱物同定確認のため、一部試料について、鉱床部安田俊一技官を煩わし、X 線解析を行ったほか、本論の全般にわたって海外地質調査協力室佐藤良昭技官に御指導を賜わった。分析試料の提供ならびに御指導・御協力を下さった各位に感謝の意を表す。

なお、本稿の 5 章は斎藤が執筆し、他は鈴木が担当した。

* 海洋地質部

2. 霞ヶ浦湖底堆積物の層序

霞ヶ浦の湖底には、最上部更新統及び完新統の砂・泥の厚層が確認されている。これらの砂・泥及び基底砂礫層を新藤・前野(1982)は、霞ヶ浦の南東部で下位から下部砂層、霞ヶ浦シルト・粘土層及び上部砂層に区分している。また、遠藤ほか(1983)は、基底砂礫層を含む下大島層と飯田層に区分した。一方、池田ほか(1977)は、基底砂礫層の上位の堆積物すべてを霞ヶ浦層と総称している。

霞ヶ浦 KB-4 号試錐は、霞ヶ浦の南東部、同湖の湖尻にあたる牛堀町近くで実施され(第1図)、この地点で確認された湖底堆積物は、掘削深度 55.57 m に達する厚層となっている(第2図)。試錐柱状をみると、上位から 29 m までは薄い泥層・テフラを多数挟み、かつ、生物片・木の枝などを含む砂層(極細粒砂:主, 細粒砂:従)で、最上部にヤマトシジミ貝殻の密集帯がある。29 m 付近から 45 m までの間は、シルトまたは粘土層で、数枚のテフラ及び泥炭を挟むほか、海棲動物の遺骸を多量に含む。砂層とシルト・粘土層との境界は漸移的である。45 m から孔底までの間は、一部柱状試料が採取されていないため不明な点もあるが、採取された 46 m 付近と 50 m 付近では、泥炭や腐植土を挟有した砂優勢の砂泥互層となっており、未採取の層準においても同様と考えられる。これらは、下位から河成(淡水成)→汽水成→海成→汽水成→淡水成相を示している。なお、掘止めとなった 55.57 m は、礫層の上面にあたる。埋没段丘の深度(新藤・前野 1982; 遠藤ほか 1983)から考えると

沖積層基底礫層の上面に相当する。従って、KB-4 号試錐で見られる堆積物は、新藤らの下部砂層、霞ヶ浦シルト・粘土層及び上部砂層に、また、遠藤らのいう下大島層から基底砂礫層を除いた地層及び飯田層、池田らの霞ヶ浦層に対比される。

なお、46 m 付近で得られた泥炭の C-14 法による年代測定値は 10120 ± 180 yBP (Gak 11235) であった。

本試錐試料では、砂質部の占める割合が多い。しかし、霞ヶ浦全域をみると泥質堆積物が極めて優勢であり、同試錐地点付近は特異な堆積域となっている。

3. 試料及び分析方法

分析に用いた霞ヶ浦 KB-4 号試錐の試料は、柱状試料中の砂層のみを対象とし、可能な限り上位から 1 m 間隔の点で 5 cm の長さを選択した。また、比較検討試料とした鹿島灘の海浜砂は、いずれも汀線付近から採取したもので、風成砂とは区別して扱った。竜ヶ崎 RU-2 号試錐の試料は、沖積層上部砂層(黒田・磯部, 1985) 約 8 m の間を、ほぼ 1 m 間隔で 10 cm 長づつ採取し、混合して用いた。更新統の各地層からは、その中の均質な砂層の部分のみを分析試料として採取した。また、中・古生界の砂岩と富士宝永火山降下火砕物層(岩津・軽石)については、それぞれを粉碎して使用した。

各試料の採取位置を第3・4図に示す。

なお、鹿島灘を中心とする海浜砂の試料は、磯部(1985)の試料とその試料番号を用いた。更新統の各試料は、地層対比が確実でないため、現在呼称されている名称に従い、また、層準の不明なものは、採取地名を用いた。

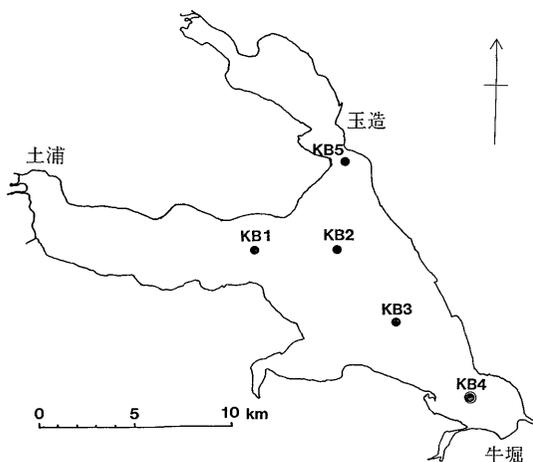
重鉱物分析は、通常の方法に従い(佐藤, 1966; 鈴木, 1985)、重液はテトラブロムエタン(比重 2.95)を用いた。分離した重鉱物量から、分析試料中における重鉱物比を算出した。また、重鉱物種のうち、磁鉄鉱については馬蹄型磁石で磁選し、重鉱物中に占める同鉱物の重量百分率を求めた。リゴラックを用いてスライドガラスに封じた重鉱物は、偏光顕微鏡下で透明鉱物 200~300 個を同定し、各鉱物の百分率を求めた。その結果を第1表に示す。

4. 重 鉱 物

4.1 霞ヶ浦の重鉱物

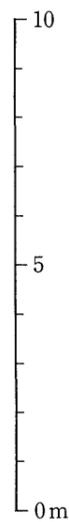
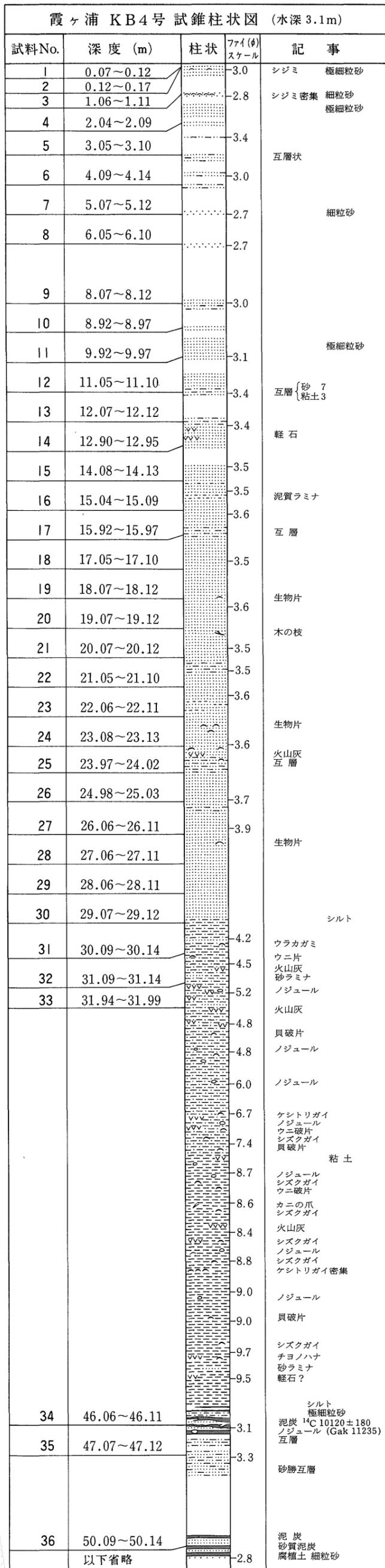
4.1.1 種 類

霞ヶ浦 KB-4 号試錐の試料 36 個から同定された重鉱物は、紫蘇輝石(図版 I-1)・普通輝石(図版 I-3)・透輝石(図版 I-4)・普通角閃石・酸化角閃石・藍閃石(図版



第1図 霞ヶ浦 KB-4 号試錐位置図

Figure 1 Location of drilling sites including KB-4 drill-hole in Lake Kasumigaura

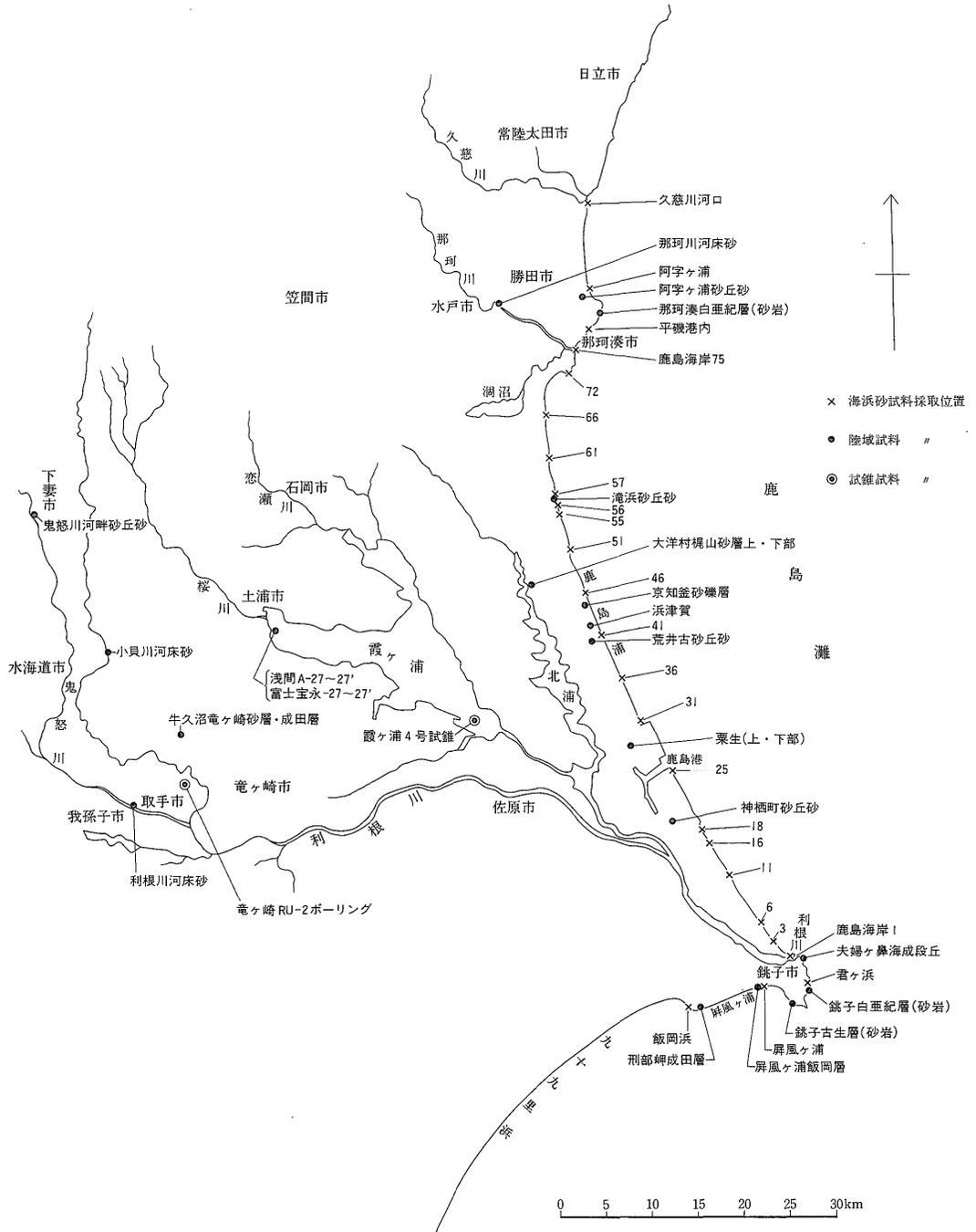


- 泥炭
- 粘土
- シルト
- 極細粒砂
- 細粒砂
- 火山灰
- 貝または生物片
- ノジュール
- 木の枝

粒径は中央粒径値(φ)を示す

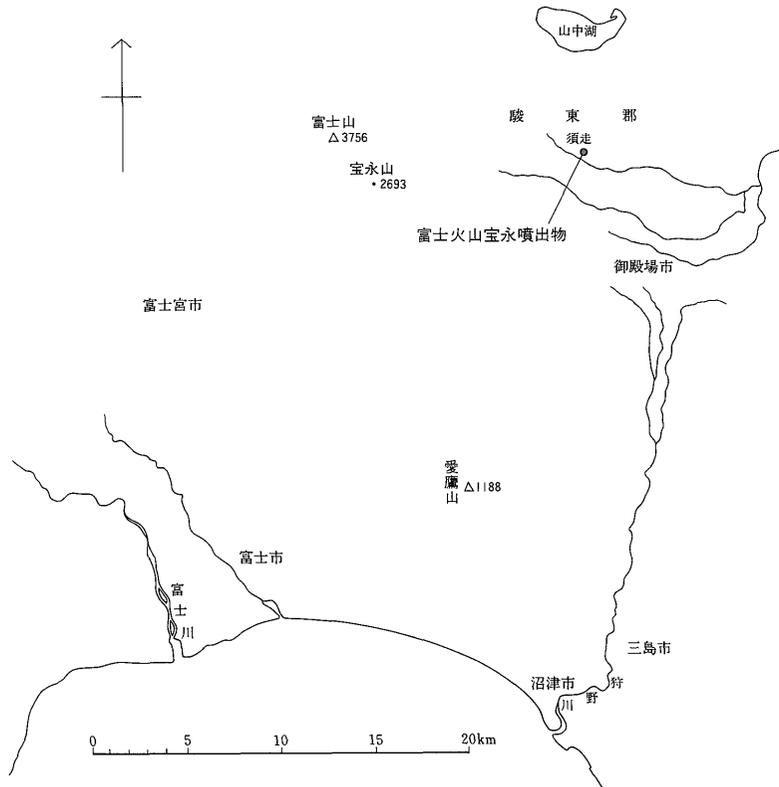
第2図 霞ヶ浦 KB-4号試錐柱状図

Figure 2 A geological log with sampling horizons of KB-4 drill-hole.



第3図 試料採取位置図

Figure 3 Locations of Holocene, Pleistocene, and some older rock samples in study area



第4図 富士火山宝永噴出物採取位置図

Figure 4 Sample locations of the Fiji 1707 Tephra

II-1)・かんらん石(図版 II-2)・ジルコン・電気石・ざくろ石・緑れん石(図版 III-3)・ゆうれん石(図版 III-4)・チタナイト(図版 III-5)・ルチル・鋭錐石・黒雲母及び磁鉄鉱である。

紫蘇輝石：角のとれた柱状のものが多く、鋸歯状を呈するものも全体の1-2割程度認められる(図版 I-2)。

普通角閃石：暗褐色と濃緑色を呈するもの及びそれらの中間色を呈するものが普通である(図版 I-5)が、稀に淡褐色ないし黄褐色から濃灰緑色または濃褐色の強い多色性を示すものがあり、これらは消光角がかなり小さい。これらとは別に、繊維状を示す青緑色角閃石が少数存在する(図版 I-6)が、ここでは緑色角閃石に含めた。

ジルコン：無色・淡褐色・ピンクなどがみられる。これらのうち、無色のものが最も多く、磨耗のみられない自形結晶(図版 II-3)、磨耗しているもの、多角状(図版 II-4)、短柱状(縦横比2:1、図版 II-5)及び長柱状を示すもの(縦横比6:1、図版 II-6)などが観察される。

電気石：褐色から暗青色・薄茶から帯青暗緑色・淡褐

から濃灰緑色または茶褐色から黒色など、いろいろな多色性を示すものがある。柱状結晶(図版 III-1)及び様々な形の破片が多い。

ざくろ石：無色・淡褐色-褐色。角ばった不規則形(図版 III-2)。

黒雲母：茶褐色。黒雲母の比重は、この分析で使用した重液の比重(2.95)の上下にまたがっているが、ここではリゴラック封入標本中のもの(>2.95)だけを数えた。

4.1.2 鉱物量

霞ヶ浦 KB-4 号試錐試料で、最も多量にみられる透明重鉱物は紫蘇輝石であり、全層を通じて40-62%含まれるが、50%以上を占めるものが試料の約2/3に及ぶ。普通角閃石は、24-40%を示し紫蘇輝石に次いで多く、以下、5-13%の普通輝石の順となる。ジルコン・緑れん石・ゆうれん石及びざくろ石は数%以下であるが、普遍的に存在することで、組成上における一つの特徴となっている。その他、含有率は低いが、酸化角閃石・電気石・チタナイトなどもやや普通に見いだされる。

第1表 霞ヶ浦KB-4号試錐コアの重鉱物組成表

Table 1 Heavy mineral composition of the core samples, KB-4 drill-hole

試料 No. (試錐深度 m)	鉍物 %		Hornblende Oxyhornblende	Glauco-phane	Olivine	Augite	Diopside	Hypersthene	Zircon	Tourmaline	Garnet	Epidote	Zoisite	Rutile	Anatase	Titanite	Biotite	Weight % of heavy residue	Magnetite/Total heavy minerals (wt.%)
	green	brown																	
KB-4 1 (0.07~ 0.12)	16	11	+			13	56	1	1	1	1	+						9.4	7.4
" 2 (0.12~ 0.17)	15	11	+			13	57	+		1	1	1						8.7	7.3
" 3 (1.06~ 1.11)	15	11	+			10	61	1	+	+	1	1						8.2	6.9
" 4 (2.04~ 2.09)	19	12	+			12	54	1		+	1	+						7.2	8.3
" 5 (3.05~ 3.10)	22	9	+			11	55	1	+	1	1							7.8	10.6
" 6 (4.09~ 4.14)	18	12	1			9	58	1		+	1	+						5.0	9.3
" 7 (5.07~ 5.12)	14	12				9	61	2		+	1	+				+		6.1	10.9
" 8 (6.05~ 6.10)	15	14				13	55	+		1	1	+				+		8.2	11.4
" 9 (8.07~ 8.12)	16	12				10	57	2		+	1	1				+		6.0	11.7
" 10 (8.92~ 8.97)	21	11	1		+	5	56	2	+	1	2	1				+		7.0	11.4
" 11 (9.92~ 9.97)	23	13	+			8	51	1	1	+	2							5.3	7.5
" 12 (11.05~11.10)	16	10				8	61	1	1	1	2	+				1		7.1	9.0
" 13 (12.07~12.12)	23	10	+			8	53	3	+	1	1	1				+		7.1	8.4
" 14 (12.90~12.95)	24	12				12	48	1	1	1	2	+						5.3	5.7
" 15 (14.08~14.13)	27	10	1			6	51	1	1	1	1	1				1		6.4	5.8
" 16 (15.04~15.09)	25	10	1		+	9	48	2	+	1	2	1				+		7.0	6.3
" 17 (15.92~15.97)	22	8				7	56	2		1	2	1				1		7.1	6.6
" 18 (17.05~17.10)	29	8	1			8	50	1		1	1	+						6.9	9.2
" 19 (18.07~18.12)	26	11	1			9	47	1		2	2	+			+	+		7.5	8.8
" 20 (19.07~19.12)	30	7	1			8	48	2	+	1	3	+						7.1	8.5
" 21 (20.07~20.12)	29	9	+			9	46	2	+	1	2	1						7.6	9.7
" 22 (21.05~21.10)	30	8	+			7	48	1	+	1	3	1						7.0	11.5
" 23 (22.06~22.11)	24	6				10	52	2		1	3	2						7.7	10.0
" 24 (23.08~23.13)	26	5				11	49	2	1	1	5	+						7.3	8.7
" 25 (23.97~24.02)	30	4	+			6	51	1	+	1	3	2				1		7.5	11.6
" 26 (24.98~25.03)	31	6				9	47	1	1	1	2	2				+		6.0	10.6
" 27 (26.06~26.11)	30	7				8	47	1	+	1	4	2		+		+		7.3	11.0
" 28 (27.06~27.11)	29	6	1			10	46	3		+	3	2						6.4	8.3
" 29 (28.06~28.11)	27	6	1			9	49	3	+	1	3	1						7.4	9.0
" 30 (29.07~29.12)	35	5	+			10	40	2		1	4	1				1		7.4	10.0
" 31 (30.09~30.14)	27	4	+	+		10	47	2		1	5	4						7.0	7.6
" 32 (31.09~31.14)	27	10	+	+		9	46	1	+	1	2	2				1		6.4	7.8
" 33 (31.94~31.99)	28	7	1			11	47	3		+	2	1				+		6.1	6.5
" 34 (46.06~46.11)	35	7	+			10	42	+		1	2	1				1		6.0	6.1
" 35 (47.07~47.12)	21	3	+			9	62	1		+	2	+				1		10.4	10.6
" 36 (50.09~50.14)	24	11				8	51	1		+	3	1					+	5.1	7.8

このような鉱物組成は、この地点における完新統の上下を通じて、量的に僅かな変動が時にみられるものの、殆ど変化を示さない。従って、本層堆積中には一つの安定した堆積環境のもとにあったことを推定させる。

各鉱物間の量的関係の子細にみると、紫蘇輝石と普通角閃石は、逆相関を示す場合が多い。普通輝石は、これらと関係なく、常にほぼ一定量(10%前後)を保っている。また、褐色角閃石は、上部に多く、緑色角閃石・緑れん石及びゆうれん石は、下部にやや多い傾向がある。

4.1.3 組成と粒度

重鉱物種と堆積物粒度との関係を大まかにみると、粒径の大きい堆積物中の方には紫蘇輝石が多くなる傾向がある(第1表及び第2図)。これは、この地域に多量にみられるほぼ同じ大きさの紫蘇輝石(比重3.3-3.9)と普通角閃石(比重3.0-3.47)の間の僅かな比重差による淘汰作用の結果であろう。さらに、各試料中における重鉱物重量比をみると、顕著な差ではないが、堆積物中央粒径の粗い方に重鉱物量の多いことが指摘できる。すでに知られているように、粗粒物質堆積域には重鉱物が濃集するという事実(有田, 1973; 鈴木・佐藤, 1978; 鈴木, 1985)は、この地域でも例外となっていない。

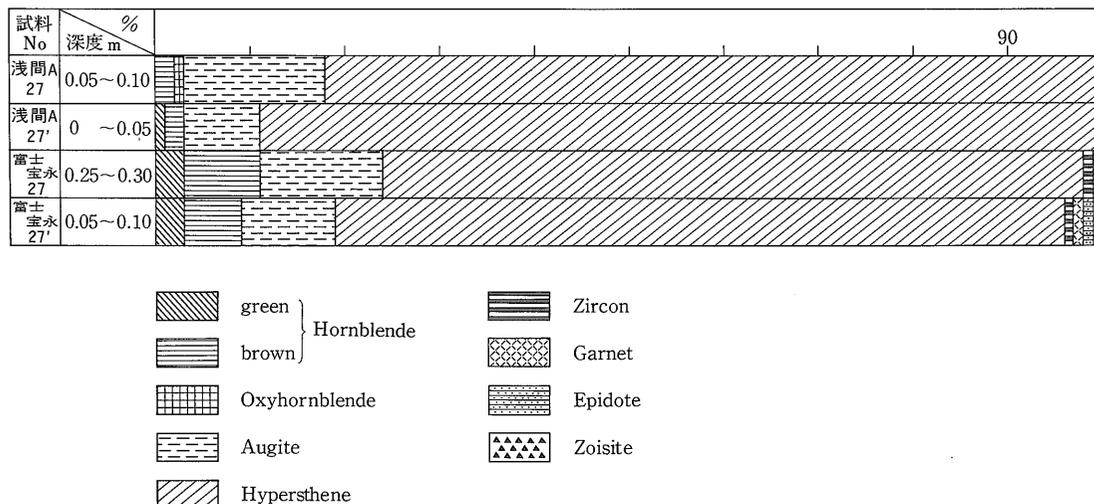
4.1.4 テフラの重鉱物

霞ヶ浦の湖底堆積物中には、ほぼ全域にわたって湖底面から約2m以内に3枚のテフラが存在し、上位から

浅間山A火山灰層(1783年噴出)・富士山宝永火山灰層(1707年噴出)・浅間山B火山灰層(1108年?噴出)と固定されている(井内, 1982)。しかし、霞ヶ浦KB-4号試錐コアでは、堆積状態が乱されていてこれらのテフラの識別が難しい(井内ほか, 1983c)ため、同湖の西方、土浦入り付近(試料番号27・27')の地点で得られた2試料により、浅間山A及び富士山宝永火山灰層をそれぞれ観察した(第5図)。

浅間山A火山灰層を含む試料では、圧倒的に紫蘇輝石が多く、80%以上に達している。このほかの鉱物は少なく、普通輝石・普通角閃石・酸化角閃石がみられるに過ぎない。紫蘇輝石は、その殆どに火山ガラスが付いており、また、不透明な包有物を持つものが目立つ。

富士山宝永火山灰層を含む試料は、紫蘇輝石が70%以上で、普通輝石・普通角閃石及び酸化角閃石があり、浅間山A火山灰層と似た組成上の傾向をもつが、さらに、ジルコン・ざくろ石・緑れん石及びゆうれん石なども認められ、火山灰層を含まない層準の試料の組成とも共通している。また、火山ガラスが付いた紫蘇輝石の割合は40-50%程度となっている。紫蘇輝石量の多少及び火山ガラスの有無などは、試料堆積時における砂粒径のテフラの降下量の大小と関連しているものと思われる。すなわち、これら試料中の含砂率をみると、浅間Aは22.65%、富士山宝永では2.92%であり、前者に比べ、後者



第5図 霞ヶ浦柱状試料中における浅間・富士山宝永火山灰の重鉱物組成
 Figure 5 Heavy mineral composition of the Fuji 1707 and Asama-A Tephra in core samples from Lake Kasumigaura

の含砂率が極端に低い。ちなみに、この試料の上下にあるテフラを含まない堆積物中の含砂率は、ほぼ1%前後であった。

なお、KB-4号試錐の深度0.07-2.09 m(試料No.1~4)の試料中には、少量ながら、火山ガラスの付いた紫蘇輝石が見いだされた(図版 III-6)。すなわち、堆積物が乱され、肉眼的にはテフラの存在が明確でないにもかかわらず、降下火山灰の痕跡が認められる。

4.1.5 供給源

重鉱物の起源については、PETTJOHN(1957)の原岩のタイプ別分類により推論を行った。この地域の重鉱物は、多量の輝石類・角閃石を含み、火山岩(安山岩質?)からの供給を強く反映している。もちろんこれは、直接原岩から供給されたか、あるいは、後背地に一旦堆積したものがその後さらに運搬されてきたのかは明確にできない。恐らく、後述するように、後者の影響を強く受けているものと考えられる。また、少量であるが、電気石・ざくろ石・緑れん石類・ジルコンなどの存在から、変成岩類及び花崗岩類などの影響が僅かに加わっていると言えよう。

4.2 周辺地域の重鉱物組成

4.2.1 鹿島灘沿岸域の重鉱物組成

霞ヶ浦湖底堆積物の組成と比較するため、鹿島灘を中心とした、太平洋沿岸域の南北約115 km間にわたる海浜砂及び浜堤砂など29個について重鉱物分析を行った(第2表)。

この地域における重鉱物は、紫蘇輝石・普通輝石・透輝石・普通角閃石・酸化角閃石・かんらん石・ジルコン・電気石・ざくろ石・緑れん石・ゆうれん石・斜ゆうれん石・珪線石(図版 IV-1)・十字石(図版 IV-2)・藍晶石(図版 IV-3)・紅柱石(図版 IV-4)・陽起石(図版 IV-5)・鋭錐石・チタナイト・スピネル(図版 IV-6)・緑泥石及び白雲母である。

これを、鹿島灘及び周辺の沿岸海浜延長115 kmのうち、1)北部の約30 kmの間、2)中部の約50 kmの間、3)南部の約35 kmの間、に3区分すると組成上の特徴が鮮明となる。

北部区：久慈川河口から鹿島海岸-No.66の間、浜堤砂を含めた7試料である。紫蘇輝石・普通角閃石が多く、普通輝石もやや多く認められるが、いずれの鉱物も、ところにより含有率がばらつく。少数鉱物として、酸化角閃石・かんらん石・ジルコン・電気石・ざくろ石・緑れん石・ゆうれん石・珪線石・十字石・藍晶石・紅柱石・陽起石・チタナイト及び白雲母などが観察される。

この区域における重鉱物組成の最大特徴は、珪線石・

十字石・藍晶石及び陽起石などの存在である。これらのうち、珪線石・十字石・藍晶石は、高変成度の変成岩起源であり、明らかに阿武隈変成岩類から流出されたものと考えられる(加納・黒田, 1968; 奈須・飯島, 1959; 加納ほか, 1973)。

現世海浜砂質堆積物中、阿武隈変成岩を起源とする鉱物が見られるのは、久慈川河口付近から那珂湊北方の平磯港内までの間であるが、組成分類の便宜上、主要鉱物の量的変化が大きい那珂川の影響を受けている区間も北部区域に含めた。

なお、磯崎-大洗の間には、上部白亜系大洗層群の砂岩を主とする地層が海崖として露出している。しかし、現世海浜堆積物中には、白亜紀層の特徴的な鉱物組成(後述)の影響はみられない。

中部区：鹿島海岸-No.61から同-No.16までの間で、浜堤砂3試料を含め15試料である。この区間は、紫蘇輝石が最も多く、次いで普通角閃石、普通輝石の順に含まれ、緑れん石・ゆうれん石が普遍的に存在する。少数鉱物として、酸化角閃石・かんらん石・透輝石・ジルコン・電気石及びざくろ石などが認められる。中部区における重鉱物は、種類の変化が少なく、かつ、量的にも安定している。重鉱物のうち、稀にみられる斜ゆうれん石・紅柱石・スピネル及び緑泥石を除けば、霞ヶ浦地域の重鉱物組成に酷似している。

この区間は、50 km以上にわたり、いわゆる鹿島浦を形成する一連の海浜で占められている。現世の海浜砂質堆積物は、永年にわたって、汀線沿いの鹿島台地から波浪侵蝕や流水による削剝によってもたらされたものを主体とし、古鬼怒川、那珂川、利根川などから搬出・供給された細粒・未凝固堆積物が付加されている。これら堆積物は、一旦海底に堆積したものを含め、波浪・沿岸流の営力により汀線沿いに北行・南行を繰り返し(奈須・飯島, 1959)あるいは、沖合から陸側へ、現在も移動中と思われる。したがって、鹿島浦を含む中部区では、堆積物の混合が進み、どの地点でも一様な鉱物組成になったものと考えられる。(なお、鹿島海岸-25の試料は、鹿島港突堤ぎわで、定期的に鹿島港内の浚渫土砂を廃棄している場所にあたり、人為的な影響を受けた試料であるので、ここでは考察から除外した)

南部区：鹿島海岸-No.11から飯岡浜に至る間の海浜砂7試料である。鉱物種は中部と殆ど共通しているが、紫蘇輝石・普通角閃石の含有率が採取地点毎に大きく変化し、特に普通角閃石が29~4%と変化の幅が大きい。また、屏風ヶ浦の試料中には磁鉄鉱が多く、重鉱物中に占める重量比で23%以上のものが認められる。この区

域は、利根川の河口をもち、同川の影響や太平洋に突出した銚子岬の存在などで、変化に富む地形となっている。このため、堆積環境が様でなく、鉱物組成にばらつきがあるものと思われる。

銚子海岸には、中・古生界の砂岩が露出しているが、

北部区の場合と同様に現世海浜堆積物中には、これらの影響はみられない。

4.2.2 周辺陸域部の重鉱物組成

霞ヶ浦の周辺陸域部を構成する諸地層を対象に、重鉱物分析を行った。分析した試料は、完新統の砂11個、

第2表 鹿島灘沿岸域海浜砂の重鉱物組成表

Table 2 Heavy mineral composition of beach sands collected from the coast of Kashima-nada

区分	試料	鉱物 %		Oxyhornblende	Olivine	Augite	Diopside	Hypersthene	Zircon	Tourmaline	Garnet	Epidote	Zoisite	Clinzoisite	Sillimanite	Staurolite	Kyanite	Andalusite	Actinolite	Anatase	Titanite	Spinel	Chlorite	Masucovite	Weight % of heavy residue	Magnetite/Total heavy minerals (wt. %)
		green	brown																							
		Hornblende																								
北部区海浜砂	久慈川河口	22	7		1	8	47		1		8	3	1		1						1				15.8	14.6
	阿字ヶ浦	45	9			6	31			+	2	2	1		1	+		+	+		1				1.7	2.0
	平磯港内	49	8		+	7	25		+		1	3	3									2			2.9	8.1
	鹿島海岸	75	22	3			12	56			1	3	2									1		+	6.8	10.8
	"	72	9	9			21	57				3	1									+			40.0	5.8
中部区海浜砂	"	61	27	6		12	45					6	3												1.7	8.0
	"	57	33	3		16	42		+	+		3	2									+	+		1.4	9.3
	"	56	33	9	1	+	14	38		+	+	3	2												1.7	11.8
	"	55	21	2		16	52		+	+	1	4	1									1			4.4	11.5
	"	51	31	6	1	16	41		+			3	2						+						0.7	9.5
	"	46	27	4	1	+	13	47		1		5	1							+		1			4.8	6.3
	"	41	20	12			18	46		+	+	2	1												1.7	7.5
	"	36	19	9	+		15	52		+	1	2	1												2.3	5.6
	"	31	19	5	1		12	53			1	1	4	3							+	1			19.2	6.1
	"	25	5	2			11	78		+	1	3													23.6	6.8
	"	18	16	13		+	19	56			+	2	1	+											2.7	9.9
南部区海浜砂	"	11	9	3		14	69		1		1	2	+								+				44.7	5.2
	"	6	2	2		13	80		+		1	2	+												94.4	4.3
	"	3	17	3	+	11	64		+		1	2	+									1			11.8	5.4
	"	1	25	4		1	14	48		1	1	1	4	1								+			3.1	4.3
	君ヶ浜	1	3		+	16	77				1	1													18.0	7.6
	屏風ヶ浦	19	2			30	47		+		1	1	+												27.0	23.7
	飯岡浜	21	3	1		14	52		2	+	1	3	2									1			9.0	11.4
砂丘砂	阿字ヶ浦	29	4	+	1	7	48		1		2	4	3						+		1				15.0	6.7
	滝浜	17	2			10	62		1		1	5	1												13.1	20.4
	荒井	8	3	+		13	69		1	+	1	2	2					1							26.2	8.4
	神栖町	17	3	+		13	60		+		1	3	1								+				17.7	8.7

第3表 霞ヶ浦周辺陸域部の重鉱物組成表

Table 3 Heavy mineral composition of Holocene and Pleistocene sediments, and some Cretaceous and Permian sedimentary rocks collected from on land around Lake Kasumigaura

区分	試料	鉍物 %		Oxyhornblende	Olivine	Augite	Diopside	Hypersthene	Zircon	Tourmaline	Garnet	Epidote	Zoisite	Clinzoisite	Rutile	Anatase	Titanite	Spinel	Chromite	Weight % of heavy residue	Magnetite/Total heavy minerals (wt. %)
		green	brown																		
		Hornblende																			
完新統	RU-2 試錐コア (300~310cm)	6	2	1		16	72				+	1	2							6.6	10.6
	" (350~360cm)	3	3	1		19	70				+	2	2							9.5	13.0
	" (390~400cm)	4	1	+		17	72					2	2				+			13.0	14.6
	" (490~500cm)	6	3	2		15	65	+	+	+	5	4								4.6	13.8
	" (590~600cm)	10	3	2	1	16	58	+	+	+	4	6		+						5.0	19.2
	" (690~700cm)	6	3	2		16	60	+	+	1	6	5								5.8	12.6
	" (790~800cm)	8	2	2		14	64	+	+	+	4	5								6.0	11.9
	那珂川河床砂	4	4	1		17	64	1	1	+	3	3				+	+			9.4	14.7
小貝川 "	+	13	+		13	71		+	+	1	1								37.2	12.6	
利根川 "	+	4	+	+	13	78	1	+	+	2	+					+			29.9	9.7	
鬼怒川河畔砂丘砂	1	9	+	+	17	71	+		1	1	+								21.8	5.1	
更新統	酒沼見和層(上部)	3	8			11	74			+		2	1							11.5	17.4
	" (中部)	34	6			2	45	2	1	2	5	2					1			7.9	22.5
	" (下部)	19	5			5	64	+	1	1	3	+					1			9.3	17.5
	大洋村梶山砂層(上)	67	15	1		+	+	6	+	+	5	5	+				+			4.4	10.6
	" (下)	14	3			13	1	65	2	+	1	1					+			35.8	19.8
	京知釜砂礫層	17	4		+	17	59			1	2		+				+			7.2	6.0
	浜津賀	34	10				47	1	+	1	5	1					1			5.3	5.6
	粟生 - 1(上)	1	4	+		11	80	+	+		2	+								22.2	23.0
	粟生 - 2(下)	18	3			16	52	2		1	4	3						1		8.4	5.4
	夫婦ヶ鼻海成段丘砂	73	3	2			5	3	+	2	6	5				+	1			5.9	24.4
	屏風ヶ浦飯岡層	8	1	+		17	66	+		1	3	3						1		8.9	9.7
	刑部岬成田層	50	9	1	+	1	22	+		1	9	7								2.4	8.5
牛久沼電ヶ崎砂層	1	1		+	17	76				2	2								7.8	18.9	
" 成田層	18	6	2		8	56	1		+	4	4						1		5.2	12.9	
中・古生界	那珂湊白亜紀層		+				1	84	3	7				1	3	+	+	1		0.08	—
	銚子 "		+			1	41	9	45				2	+	1	+	1			0.07	—
	" 古生層		2			1	3	9	+	35	22	8			+	19				0.4	—

更新統の砂 14 個及び中・古生界の砂岩 3 個である(第 3 表)。

完新統試料：竜ヶ崎 RU-2 号試錐で得られた柱状試料と、現河川の河床砂、若しくは河畔砂丘砂である。RU-2 試錐は、霞ヶ浦・土浦入りの南南西約 20 km に当たり、茨城県藤代町付近に位置している(第 3 図)。小貝川低地帯の沖積層に 60 m まで掘削されたもので、分析試料は、同試錐で採取された柱状試料の上部砂層のうち、深度 3-8 m 間の 7 個を扱った(第 6 図)。これら試料の重鉱物は、霞ヶ浦地域及び鹿島灘沿岸海浜砂の中部区のものと同通種もあるが、両地域よりも種類が少ない。すなわち、紫蘇輝石が 58-72% と最も多く、次いで、普通輝石 14-19%、普通角閃石 5-13% となり、緑れん

石及びゆうれん石は 1-6%、酸化角閃石 2% 以下、かんらん石・ジルコン・ざくろ石・ルチル及びチタナイトは、いずれも 1% 以下に過ぎない。

河床砂は、那珂川・小貝川・利根川及び鬼怒川の 4 河川のものである。これらの重鉱物組成は、RU-2 試錐で見られるものに電気石と鋭錐石が加わったものである。また、各試料採取地点の間の距離が大きく離れているにもかかわらず、殆ど組成変化がみられない。

更新統試料：霞ヶ浦の周辺丘陵地帯には、上部更新統の諸地層が広く分布している(青木・馬場, 1979)。本論では、主として鹿島灘沿岸付近とその内陸部で採取し得た試料について分析した。

重鉱物組成は、完新統のものと同通であるが、普通角閃石と紫蘇輝石の含有率が極端に変化する場合がある。すなわち、大洋村梶山砂層・夫婦ヶ鼻海成段丘砂及び刑部岬成田層などは、普通角閃石が 59-83%、紫蘇輝石が 6-5% であるのに対し、粟生-1 及び牛久沼竜ヶ崎砂層は、逆に前者が 2-5%、後者が 76-80% となっている。採取試料の層準対比が明確でないが、この点を除けば組成上大きな変化はみられない。

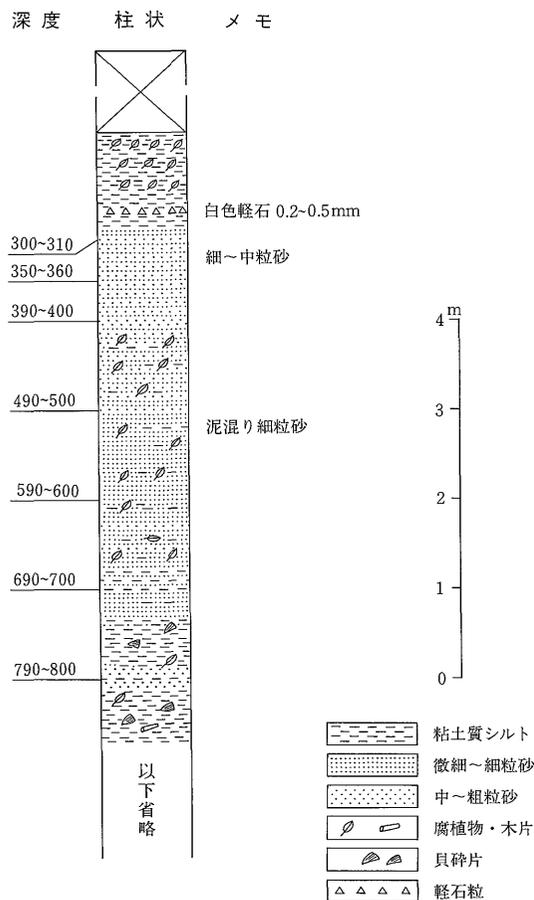
中・古生界試料：那珂湊及び銚子海岸に露出する白亜系の砂岩と、銚子に分布する古生界砂岩を分析した。白亜系の砂岩中には、特徴的にジルコン・ざくろ石が多い。また、電気石・鋭錐石・ルチルなども目だつ。そのほか、1% 以下のチタナイト・スピネル・クロム鉄鉱・紫蘇輝石及び普通角閃石などが観察される。那珂湊及び銚子両地域の重鉱物の種類はほとんど一致しているが、ジルコン・ざくろ石の含有率に差が認められる。那珂湊では、ジルコンが 84%、ざくろ石が 7% であるのに対し、銚子では、ジルコン 41%、ざくろ石が 45% である。なお、銚子半島白亜紀層の重鉱物組成については、前田(1960)に詳しいが、今回の分析結果では、同層中に紅柱石はみられなかった。

古生界の砂岩中には、ざくろ石・緑れん石・チタナイトが多く 19-35%、ジルコン・ゆうれん石が 8-9% でこれに次ぎ、紫蘇輝石・普通角閃石・普通輝石及び鋭錐石は 3% 以下である。これら重鉱物は、X 線解析によっても確認された。なお、白亜系中に緑れん石・ゆうれん石は存在せず、古生界砂岩中には特に緑れん石が多く見いだされ、同層の一つの特徴となっている。

4.2.3 富士宝永火山降下火砕物層の重鉱物組成

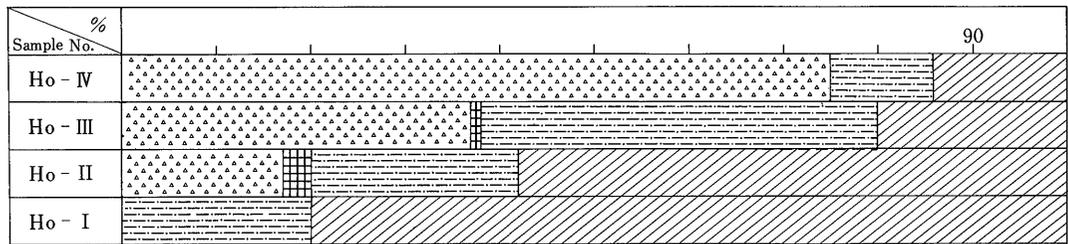
霞ヶ浦に降下した火山灰層と比較検討するため、富士宝永火山降下火砕物について、宮地(1984)の層序に従い、重鉱物分析を行った(第 7 図)。

同火砕物層は、宮地によって、Ho-I~IV のグループ

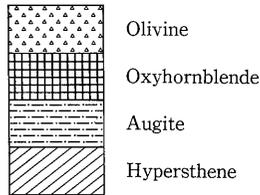


第 6 図 竜ヶ崎 RU-2 試錐柱状図

Figure 6 A geological log of RU-2 drill-hole



Legend



第7図 富士宝永火山降下火砕物層の重鉱物組成
Figure 7 Heavy mineral composition of the Fuji 1707 Tephra near Mt. Fuji

に区分されている。分析試料は、富士山頂から東方へ13 kmの地点に分布する同層から採取した。Ho-Iは、主として白色の軽石、Ho-II~IVは、主として黒色スコリアからなる。

Ho-I~IVの重鉱物組成は各層準毎に差が認められる。すなわち、Ho-Iは、紫蘇輝石と普通輝石の2種のみからなり、前者が80%を占める。Ho-IIとHo-IIIは、紫蘇輝石・普通輝石・かんらん石及び酸化角閃石からなるが、Ho-IVには、酸化角閃石が認められない。紫蘇輝石は、下位から上位になるにしたがい、80→14%に減少する。かんらん石は、これと逆の傾向を有し、Ho-IIで17%、最上位のIVでは75%に達している。また、普通輝石は、上下を通じ存在するが、Ho-IIIで最も多く42%を示す。

なお、本層中に含まれる紫蘇輝石のほとんどに、火山ガラスが付いているのが特徴的である。

4.3 試料間の重鉱物組成の対比

完新統の試料は地域別に、更新統及び中・古生界の諸地層から得た試料は時代別に表記し、地域内における重鉱物組成の対比を行った(第4表)。その結果、霞ヶ浦KB-4号試錐柱状試料の砂と、鹿島灘海岸中部区における海浜砂の組成が酷似していることが判明した。鉱物の共通種は14種あり、特に、主要構成鉱物となっている紫蘇輝石・普通角閃石及び普通輝石などは、それぞれ、含有率も非常に似ている。どちらか一方の地域にのみ含

まれる鉱物としては、藍閃石・ルチル・黒雲母・紅柱石・スピネル・緑泥石があげられるが、いずれも0.5%以下に過ぎない。

5. 霞ヶ浦南東部砂質堆積物の供給源の堆積学的考察

霞ヶ浦地域には、最終氷期に古鬼怒川水系の開析によって形成された谷地形を埋積して、完新統が発達している。湖底の海成堆積物は、主として泥質堆積物からなるが、霞ヶ浦北部の玉造付近の一部と同湖南東部には砂質堆積物が発達している(藤下ほか, 1967; 新藤・前野, 1982; 井内・湖沼堆積物研究グループ, 1983; 斎藤ほか, 1983a-b)。また、現在の利根川下流部の鹿島から佐原地域にも砂質堆積物が発達している(遠藤ほか, 1983; 菊地, 1969; 新藤・前野, 1982)。これらの砂質堆積物のうち鹿島地域の砂礫については鹿島台地からのびる砂州堆積物と考えられている(菊地, 1969)。一方、霞ヶ浦南東部・佐原地域に発達する砂質堆積物の供給源については、次の3点が考えられる。

1. 鬼怒川・利根川からの供給
 2. 霞ヶ浦をとりまく周辺台地からの供給
 3. 鹿島灘の海岸侵食物質からの供給
- これらについて検討してみよう。

池田ほか(1977)は、湖南東部の砂質堆積物は鬼怒川・利根川からの搬入によるとした。しかし、この考えは、次の理由により否定される。まず湖南東部から鹿島地域

第4表 重鉱物対比表
Table 4 Correlation of heavy mineral assemblage among various localities

霞ヶ浦KB-4号試錐	鹿 島 海 岸			河 川		更新統諸地層	中生層	古生層
	北部区	中部区	南部区	群珂川・鬼怒川・小貝川・利根川	竜ヶ崎RU-2号試錐			
角閃石：24~40% (緑色系：14~35%) (褐色系：3~14%) 酸化角閃石：+ 藍閃石：+ かんらん石：+ 普通輝石：5~13% 透輝石：+ 紫蘇輝石：40~62% ジルコン：< 3% 電気石：+ ざくろ石：< 2% 緑れん石：1~5% ゆうれん石：< 4% 斜ゆうれん石：+	角閃石：13~57% (緑色系：8~49%) (褐色系：5~9%) 酸化角閃石：+ かんらん石：+ 普通輝石：6~21% 紫蘇輝石：25~63% ジルコン：+ 電気石：+ ざくろ石：< 8% 緑れん石：< 3% ゆうれん石：< 3% 珪線石：+ 十字石：+ 藍晶石：+ 紅柱石：+ 陽起石：+ ルチル：+ 銳錐石：+ チタナイト：+ 黒雲母：+	角閃石：23~42% (緑色系：16~33%) (褐色系：3~13%) 酸化角閃石：+ かんらん石：+ 普通輝石：12~19% 透輝石：+ 紫蘇輝石：38~56% ジルコン：+ 電気石：+ ざくろ石：+ 緑れん石：2~6% ゆうれん石：1~3% 斜ゆうれん石：+ 紅柱石：+ 銳錐石：+ チタナイト：+ スピネル：+ 緑泥石：+ 白雲母：+	角閃石：4~29% (緑色系：1~25%) (褐色系：2~4%) 酸化角閃石：+ かんらん石：+ 普通輝石：11~30% 紫蘇輝石：47~80% ジルコン：< 2% 電気石：+ ざくろ石：+ 緑れん石：1~4% ゆうれん石：< 2% チタナイト：+	角閃石：4~13% (緑色系：< 4%) (褐色系：4~13%) 酸化角閃石：+ かんらん石：+ 普通輝石：13~17% 紫蘇輝石：64~78% ジルコン：+ 電気石：+ ざくろ石：+ 緑れん石：1~3% ゆうれん石：< 3% 銳錐石：+ チタナイト：+	角閃石：5~13% (緑色系：3~10%) (褐色系：1~3%) 酸化角閃石：< 2% かんらん石：+ 普通輝石：14~19% 紫蘇輝石：58~72% ジルコン：+ ざくろ石：+ 緑れん石：1~6% ゆうれん石：2~6% ルチル：+ チタナイト：+	角閃石：2~82% (緑色系：1~73%) (褐色系：1~15%) 酸化角閃石：+ かんらん石：+ 普通輝石：< 17% 紫蘇輝石：5~80% ジルコン：< 3% 電気石：+ ざくろ石：< 2% 緑れん石：1~9% ゆうれん石：< 7% 斜ゆうれん石：+ 銳錐石：+ チタナイト：+	角閃石：+ (褐色系：+) かんらん石：+ 普通輝石：< 17% 紫蘇輝石：+ ジルコン：41~84% 電気石：3~9% ざくろ石：7~45% ルチル：1~2% 銳錐石：< 3% チタナイト：+ スピネル：+ クロム鉄鉱：+	角閃石：2% (褐色系：2%) 普通輝石：+ 紫蘇輝石：3% ジルコン：9% 電気石：+ ざくろ石：35% 緑れん石：22% ゆうれん石：8% 銳錐石：+ チタナイト：19%

+ : 1%以下の鉱物

に発達する砂質堆積物の主な堆積時期は、約 10000yBP から約 4000 yBP の間(第 8 図の II・III の時期: 斎藤, 1986)であり、縄文海進最盛期に特に顕著である。この時期、鬼怒川河口は、海進にともなって古鬼怒湾湾奥部まで後退していたため、霞ヶ浦から鹿島地域に砂質堆積物を供給できる状態になかった。さらに、竜ヶ崎・佐原間の完新統は最上部が鬼怒川起源の砂層からなるが、霞ヶ浦南東部から鹿島地域に発達する砂質堆積物と同層準では泥質堆積物からなり(遠藤ほか, 1983; 黒田・磯部, 1985)、砂層は連続していない。また、今回行った重鉱物組成においても上述したように霞ヶ浦湖底の試錐試料は、鬼怒川起源の堆積物とは組成が異なる(第 4 表)。ただし、量的には少ないが、佐原から潮来地域の完新統最上部の一部の砂層については鬼怒川三角州の前進(大矢, 1969)による堆積物と考えられる。

次に、霞ヶ浦南東部から鹿島地域に発達する砂質堆積物の供給源を、周辺台地から供給されたとすると、次の点が説明できない。まず、霞ヶ浦南東部から鹿島地域に限定される必然性がない。霞ヶ浦南東部と玉造の一部を除けば、霞ヶ浦周縁の完新統では砂層の発達は良くない(新藤・前野, 1982)。また、砂質堆積物の発達地域において、同堆積物の発達時期に大量の土砂を供給したと推定される特別な侵食地形は認められておらず、沖積層断面図(佐原地域, 新藤・前野, 1982)の基盤地形においても泥質堆積物分布域の断面図と特別な差異はない。以上のことから、周辺台地からの供給はあったにしても量的には小さかったと推定される。

以上述べた理由により、鬼怒川・利根川、霞ヶ浦をとりまく周辺台地は、霞ヶ浦南東部から鹿島地域に発達する砂質堆積物の主たる供給源とはなり得ない。

砂質堆積物の発達している霞ヶ浦から鹿島地域の完新統を時・空間的に細かくみると次のような特徴がある。霞ヶ浦から鹿島地域における砂質堆積物の堆積時期(約 10000 yBP から約 4000 yBP 間、第 8 図の II・III の時期)においては、堆積速度は鹿島地域で最も大きく(60 m/約 10000-5500 yBP : 斎藤, 1986)、霞ヶ浦に向かって減少する(第 8 図の II の時期)。また、堆積物の粒度も霞ヶ浦に向かって細くなる(第 8 図、第 9 図: 斎藤, 1986; 斎藤ほか 1983b)。

藤下ほか(1967)及び斎藤ほか(1983a)は、このような粒度分布の特徴から砂質堆積物の供給源を鹿島方面に求めている。砂質堆積物の堆積時期における層厚分布が鹿島地域(古鬼怒湾の湾口部)から霞ヶ浦地域(湾奥部)へと減少していることはこの推定を支持している。

鹿島方面から霞ヶ浦への堆積物の供給を考えた場合、

供給源としては鹿島灘沿岸における台地の波食によるものが考えられる。日本の海浜変形図(運輸省, 1977)によれば、大洗町南側の沿岸は、波食による $-1 \sim -3$ m/年の小規模欠壊が報告されており、また、坂本(1975)は、鹿島台地の北部を刻む水系発達非対称性から、波食による大幅な海岸線の後退を推定している。現在の鹿島灘の海浜は堆積性であるとされ(前出)、特に本論で中部区とした区域は $1 \sim 3$ m/年の小規模堆積域に該当している。沿岸漂砂の卓越流向としては、北部では大洗町南側沿岸海域から、南部は利根川河口付近海域から、それぞれ中部区に向かうことが指摘されている。

現在、鹿島台地の波食によって形成された碎屑物は、中部区に堆積している。しかしながら、霞ヶ浦南東部から鹿島地域にかけて砂質堆積物が堆積した時期(約 10000 yBP から約 4000 yBP 間)には、現在の鹿島低地地域が古鬼怒湾の湾口部にあたっていた。湾口部付近では潮汐流が卓越していたことが予想されることから、波食によって形成された沿岸碎屑物は、沿岸流によって湾口部に運ばれ、さらに潮汐流によって古鬼怒湾内に供給されたことが推定される。

今回得られた霞ヶ浦南東部の試錐試料の重鉱物組成は、非常に安定した組成を持ち、現在の鹿島灘海浜の重鉱物組成と酷似している。このことは、上記推論を裏付ける。

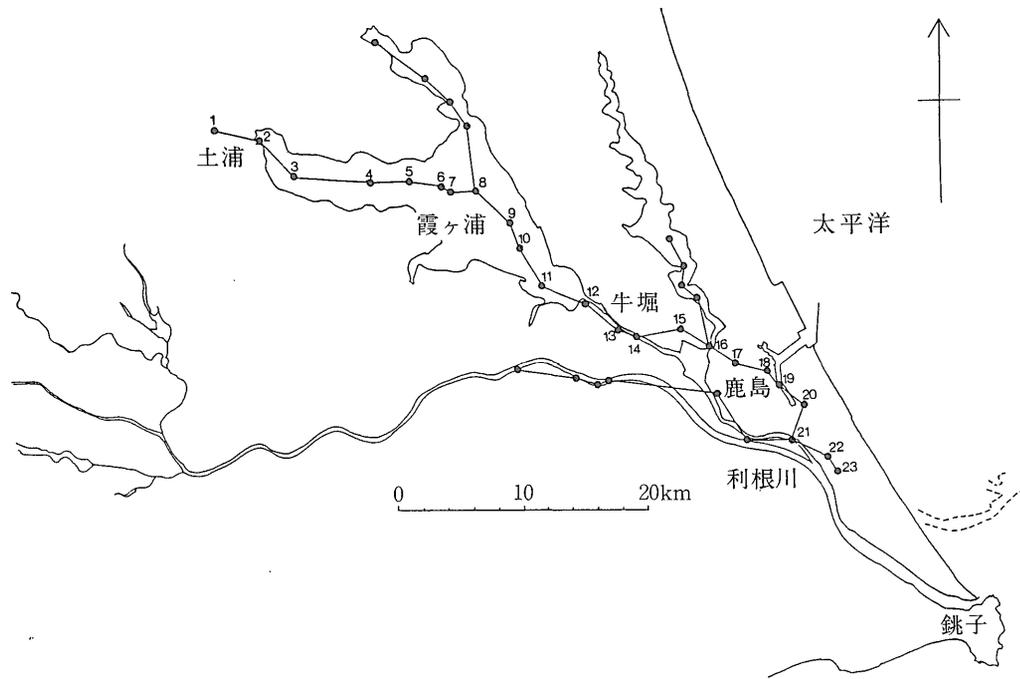
以上の理由により、霞ヶ浦南東部から鹿島地域に分布する砂質堆積物は、鹿島灘沿岸における海岸侵食によって供給された碎屑物が、沿岸流によって古鬼怒湾湾口部へ運ばれ、さらに潮汐流によって古鬼怒湾内へもたらされたものと結論付けられる。

6. ま と め

霞ヶ浦湖底試錐試料及び周辺の完・更新統堆積物の重鉱物組成を求め、霞ヶ浦南東部に分布する砂質堆積物の供給源について考察した。その結果、次のことが判明した。

1) 霞ヶ浦湖底堆積物中には、紫蘇輝石が多く含まれ、次いで普通角閃石・普通輝石が目立つ。少量であるが、ジルコン・緑れん石・ゆうれん石及びざくろ石などが普遍的に観察される。これらの組成は、湖底試錐試料の全体を通じ、ほぼ均質である。

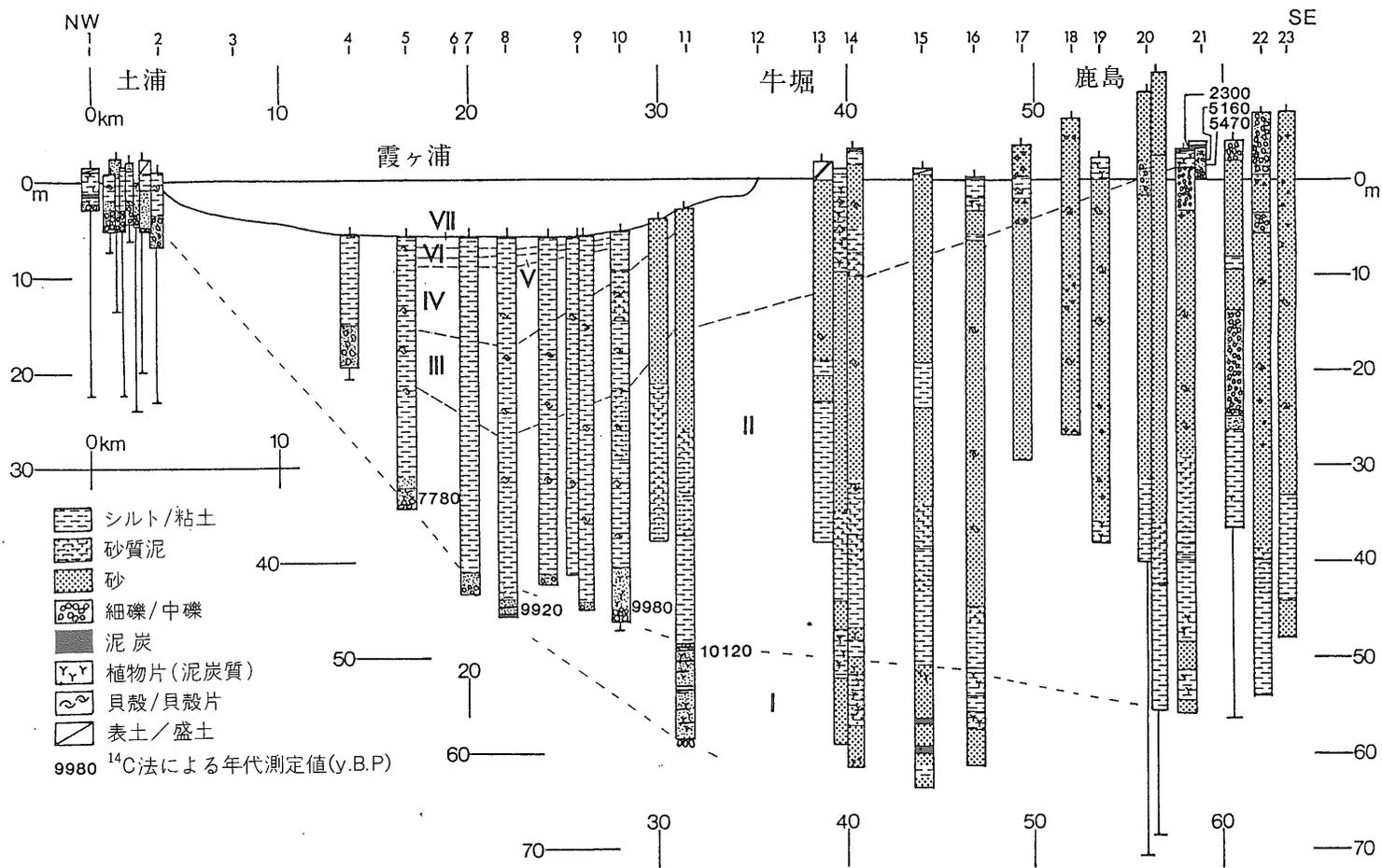
2) 鹿島灘海岸の海浜砂は、重鉱物組成の上から、北・中・南部地区に 3 区分できる。北部区は、阿武隈変成岩類からもたらされた鉱物を特徴的に含む。中部区は、鹿島台地を構成する更新統の砂質物質が主な供給源と考えられる。その組成は霞ヶ浦湖底堆積物と共通するものが多い。南部区は、中部区の鉱物と共通種が多いが、区



○縦断面図位置図 海域の破線は埋没谷地形を示す

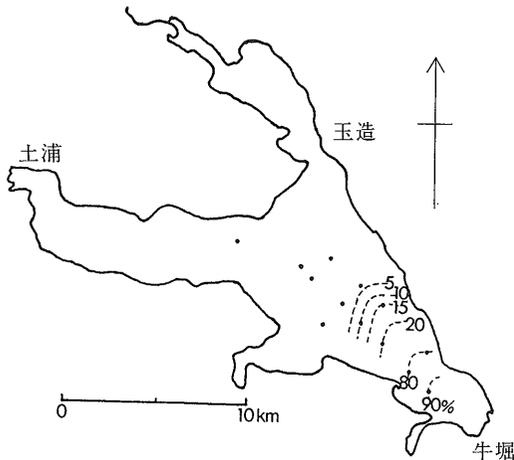
第8図 霞ヶ浦から鹿島地域にかけての縦断面図(斎藤1986)

Figure 8 Cross sections of drill-holes arranged from Lake Kasumigaura to Kashima lowland showing changes of lithology and thickness with time lines based on C-14 dates and tephras (from SAITO, 1986).



○アラビア数字は発達時期区分を、破線は推定される同時間線を示す

霞ヶ浦湖底堆積物の重鉱物組成と供給源 (鈴木泰輔・斎藤文紀)



・ 試錐位置

第9図 霞ヶ浦東部への砂質碎屑物供給時における砂含有率平面分布(%) (斎藤ほか, 1983による; 第8図のⅢの時期: ca. 4000-ca. 5500 yBP)

Figure 9 Distribution map of sand content (wt. %) during ca. 4000 - ca. 5500 yBP (from SAITO *et al.* 1983)

域内の堆積環境に差があり, 量的変化が著しい。

3) 各河川における完新統堆積物及び各地の更新統堆積物中の重鉱物を, 霞ヶ浦湖底海成完新統中のものと比較すると, 鉱物種は共通するが, 量的にかなりの差が認められる。中・古生界の砂岩中の重鉱物組成は完・更新統と全く異なっている。

4) 周辺各地の重鉱物と霞ヶ浦湖底海成完新統中のものと比較すると, 鹿島灘海岸中部区における現海浜砂の組成が酷似している。

5) 重鉱物組成及び層相の時空間的分布から考察すると, 霞ヶ浦南東部から鹿島地域に分布する砂質堆積物は, 鹿島灘沿岸における海岸侵食によって生成された碎屑物が, 沿岸流によって古鬼怒湾々口部へ運ばれ, さらに潮汐流によって古鬼怒湾内へもたらされたものと結論付けられる。

文 献

青木直昭・馬場勝良(1979) 霞ヶ浦-北浦地域の下総層群. 筑波の環境研究, no.4, 筑波大学, p.186-195.
 有田正史(1973) 乱泥流堆積物における重鉱物の研究. 海洋科学, vol. 5, p.28-33.
 遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘(1983) 関東平野の沖積層—最終氷期以降の

関東平野3— URBAN KUBOTA, no.21, p.26-43.

藤下利男・松本一明・堀江宏保・小川富美子(1967) 霞ヶ浦の土質調査および湖底土の土性について. 港湾技研資料, no.27, 運輸省港湾技術研究所, 66 p.

池田 宏・小野有五・佐倉保夫・増田富士男・松本栄次(1977) 筑波台地周辺低地の地形発達—鬼怒川の流路変更と霞ヶ浦の成因—. 筑波の環境研究, no.2, 筑波大学, p.104-113.

井内美郎(1982) 霞ヶ浦の湖底をさぐる(2) —火山灰層を使って堆積物に年代の目盛りをうつ—. 地質ニュース, no.331, p.56-63.

—————・横田節哉・小野寺公児・大嶋和雄・村上文敏・木下泰正・斎藤文紀・青木市太郎・斎藤英二(1983a) 湖沼堆積物の調査技術に関する研究. 昭和56-58年度公害特別研究報告, 工業技術院, p.60-1-60-26.

—————・—————・斎藤文紀(1983b) 霞ヶ浦湖底堆積物に残された水理環境変化の歴史. 地調月報, vol.34, p.433.

—————・斎藤文紀・横田節哉(1983c) 霞ヶ浦湖底泥の堆積速度—火山灰層を用いた堆積速度算定法—. 地質学雑誌, vol.89, p.125-128.

—————・湖沼堆積物研究グループ(1983d) 湖沼堆積物の調査技術に関する研究—昭和57年度調査研究報告—. 地質ニュース, no.343, p.46-56.

磯部一洋・池原 研・川幡穂高(1985) ノジュール礫の供給源を鹿島灘に探る. 地質ニュース, no.370, p.48-55.

加納 博・黒田吉益(1968) 阿武隈高原の変成作用—とくに紅柱石・藍晶石・珪線石の共存に関して—. 「日本の変成帯形成史の総合的研究」連絡誌 変成帯, vol.5, p.5-12.

—————・—————・宇留野勝敏・濡木輝一・蟹沢聡史・丸山孝彦・梅村隼夫・光川 寛・瀬戸延男・大平芳久・佐藤 茂・一色直記(1973) 5万分の1地質図幅「竹貫」. 地質調査所, 109 p.

菊地隆男(1969) 茨城県鹿島半島北部の地形発達史. 資源科学研究所彙報, 70, 63-76.

黒田和男・磯部一洋(1985) 茨城県藤代町周辺低地帯における沖積層の年代とその地盤沈下現象に係わる環境地学上の意義. 第11回産業公害

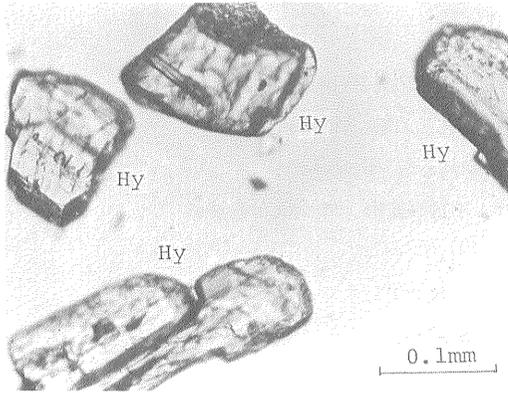
- 研究総合推進会議総会(合同討論会)資料, 工業技術院, p.119-120.
- 前田四郎(1960) 銚子半島白亜紀層の重鉱物組成(予報). 千葉大学銚子臨海研究分室, 研究報告, no.2, p.36-48.
- 宮地直道(1984) 富士火山1707年火砕物の降下に及ぼした風の影響. 火山, 第2集, vol.29, p.17-30.
- 奈須紀幸・飯島 東(1959) 海岸堆積物とその供給源について. 東海村海岸調査報告書(第1報), 第4編, 日本原子力発電株式会社, p.186-231.
- 大矢雅彦(1969) 利根川中下流平野の地形発達と洪水. 地学雑誌, 78, 341-354.
- PETTIJOHN, F.J. (1957) Sedimentary Rocks. 2nd Ed., Harper and Brothers. 718 p.
- 斎藤文紀(1983) 霞ヶ浦柱状試料からみた古環境. 地調月報, vol.34, p.432-433.
- (1986) 霞ヶ浦から鹿島地域の完新統とその地史. 地調月報, vol.37, p.502-505.
- ・井内美郎・横田節哉(1983a) 霞ヶ浦の堆積環境の変遷について(予報). 日本地質学会第90年学術大会, 講演要旨, p.263.
- ・————(1983b) 霞ヶ浦湖底地形の形成時期. 地理予, 24, p.54-55.
- 坂本 亨(1975) 5万分の1地質図幅「磯浜」及び同説明書. 地質調査所, 55 p.
- 佐藤良昭(1966) みんなの地質調査11—砂岩の中の重鉱物—. 地質ニュース, no.141, p.34-38.
- 新藤静夫・前野元文(1982) 霞ヶ浦周辺低地の環境地学(1)—桜川低地と霞ヶ浦の地形, 地質—. 筑波の環境研究, no.6, 筑波大学, p.173-181.
- 鈴木泰輔(1985) 石狩湾堆積物の重鉱物組成. 地調月報, vol.36, p.395-413.
- ・佐藤良昭(1978) 佐世保炭田の一試錐コア—にみられる重鉱物組成の垂直変化. 地調月報, vol.129, p.807-820.
- 運輸省港湾局・港湾技術研究所(1977) 日本の海浜変形及び「no.32 鹿島灘沿岸図」. 22 p.

(受付: 1986年7月24日; 受理: 1986年10月27日)

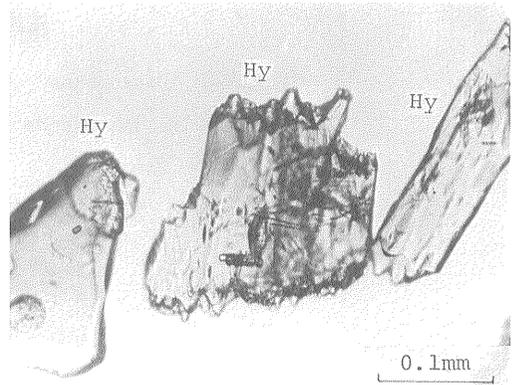
図版 I

Hy : 紫蘇輝石 Hypersthene Au : 普通輝石 Augite
H : 普通角閃石 Hornblende D : 透輝石 Diopside
E : 緑れん石 Epidote Op : 不透明鉱物 Opaque mineral

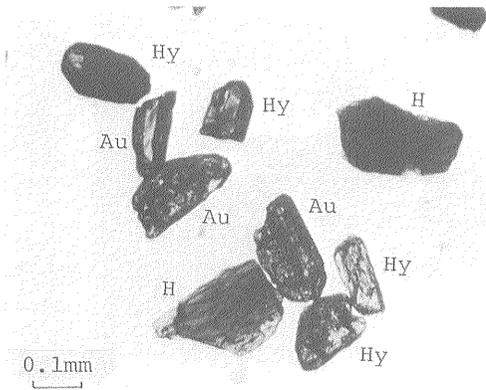
- 1 KB-4 No.11 (試錐深度 9.92~ 9.97 m)
- 2 KB-4 No. 1 (試錐深度 1.06~ 1.11 m)
- 3 KB-4 No. 9 (試錐深度 8.07~ 8.12 m)
- 4 KB-4 No.21 (試錐深度 20.07~20.12 m)
- 5 KB-4 No.21 (試錐深度 20.07~20.12 m)
- 6 KB-4 No. 4 (試錐深度 2.04~ 2.09 m)



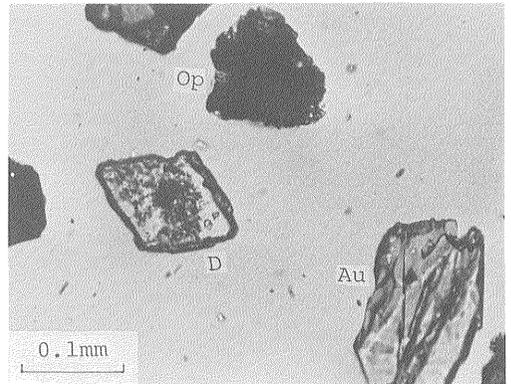
1



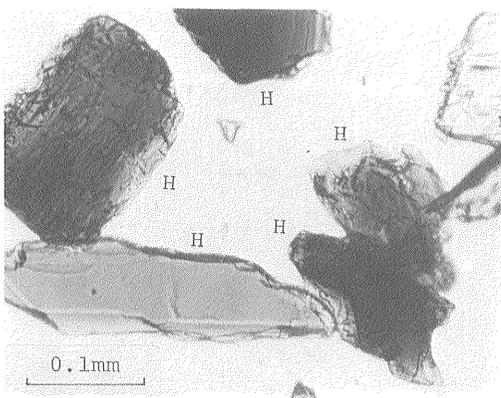
2



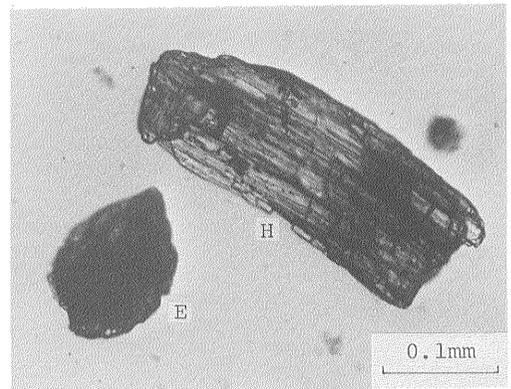
3



4



5

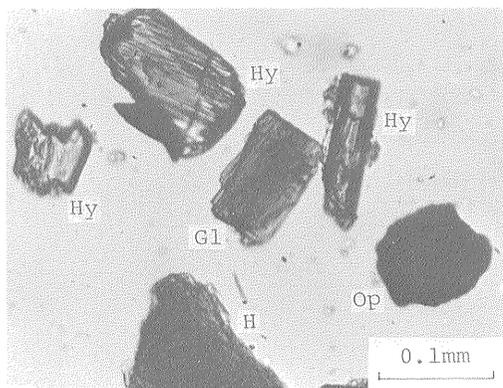


6

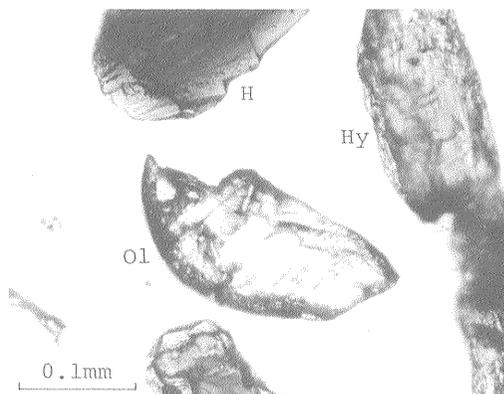
図版 II

Gl : 藍閃石 Glaucophane	Hy : 紫蘇輝石 Hypersthene
H : 普通角閃石 Hornblende	Ol : かんらん石 Olivine
Z : シルコン Zircon	E : 緑れん石 Epidote
Au : 普通輝石 Augite	Op : 不透明鉱物 Opaque mineral

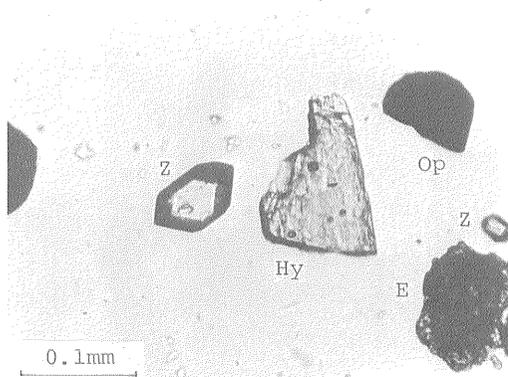
- 1 KB-4 No.31 (試錐深度 30.09~30.14 m)
- 2 KB-4 No.10 (試錐深度 8.92~ 8.97 m)
- 3 KB-4 No.24 (試錐深度 23.08~23.13 m)
- 4 KB-4 No. 5 (試錐深度 3.05~ 3.10 m)
- 5 KB-4 No.25 (試錐深度 23.97~24.02 m)
- 6 KB-4 No.14 (試錐深度 12.90~12.95 m)



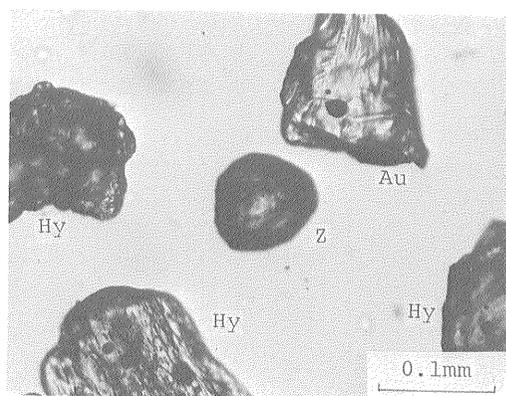
1



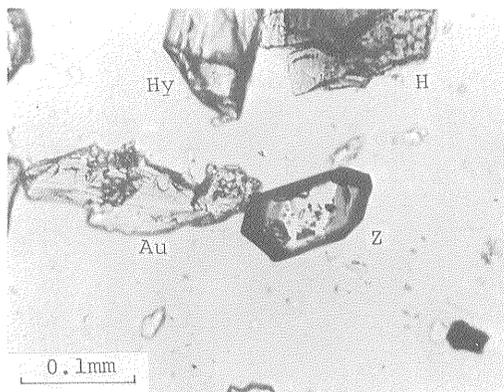
2



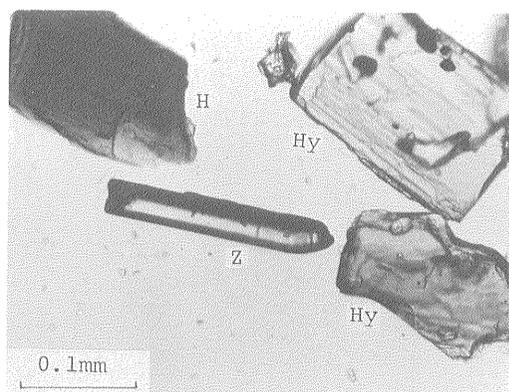
3



4



5

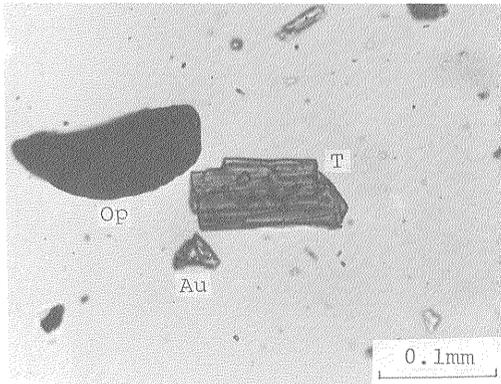


6

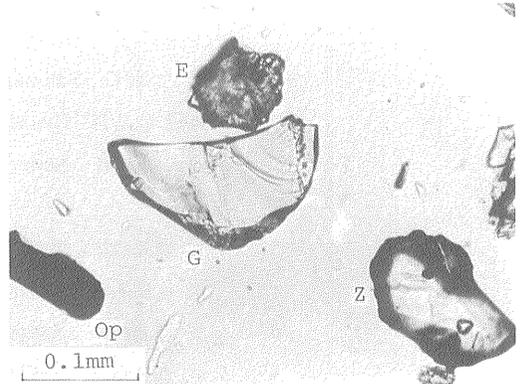
図版 III

T : 電気石 Tourmaline Au : 普通輝石 Augite
G : ざくろ石 Garnet Zo : ゆうれん石 Zoisite
E : 緑れん石 Epidote Hy : 紫蘇輝石 Hypersthene
Ti : チタナイト Titanite Z : ジルコン Zircon
Op : 不透明鉱物 Opaque mineral

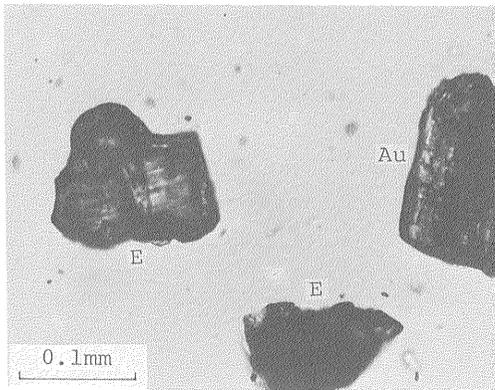
- 1 KB-4 No. 24 (試錐深度 23.08~23.13 m)
- 2 KB-4 No. 29 (試錐深度 28.06~28.11 m)
- 3 KB-4 No. 8 (試錐深度 6.05~ 6.10 m)
- 4 KB-4 No. 21 (試錐深度 20.07~20.12 m)
- 5 KB-4 No. 34 (試錐深度 46.06~46.11 m)
- 6 KB-4 No. 1 (試錐深度 0.07~ 0.12 m)



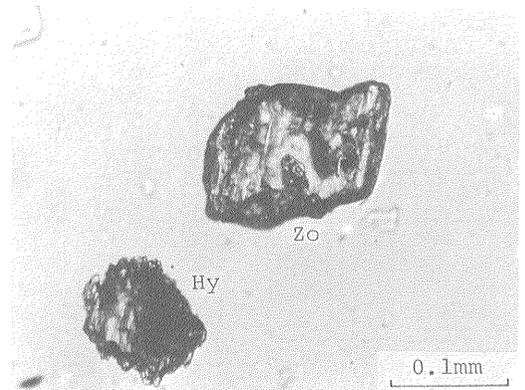
1



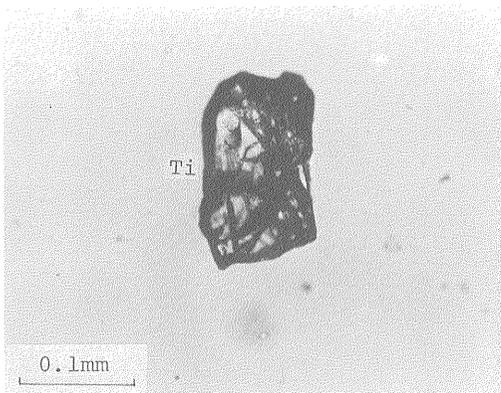
2



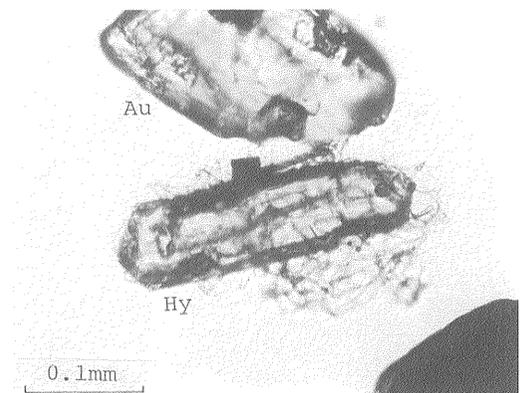
3



4



5

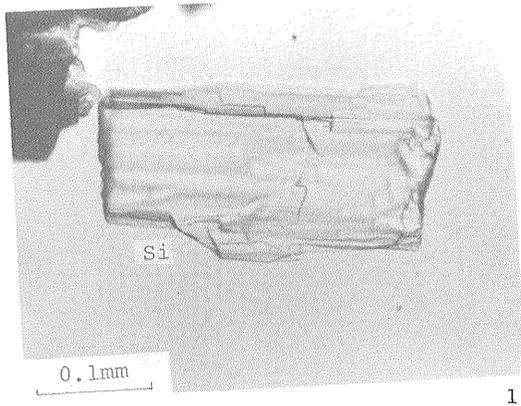


6

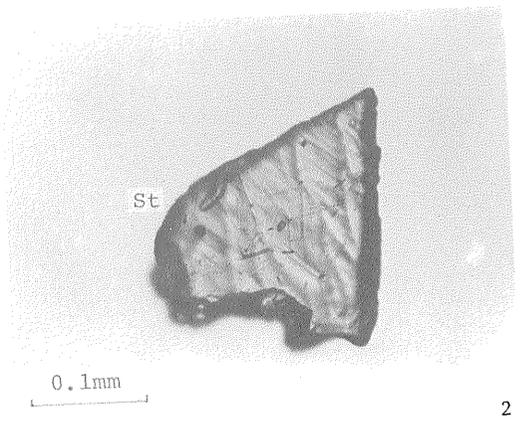
図版 IV

Si : 珉線石 Sillimanite St : 十字石 Staurolite
Ky : 藍晶石 Kyanite An : 紅柱石 Andalusite
Ac : 陽起石 Actinolite Sp : スピネル Spinel

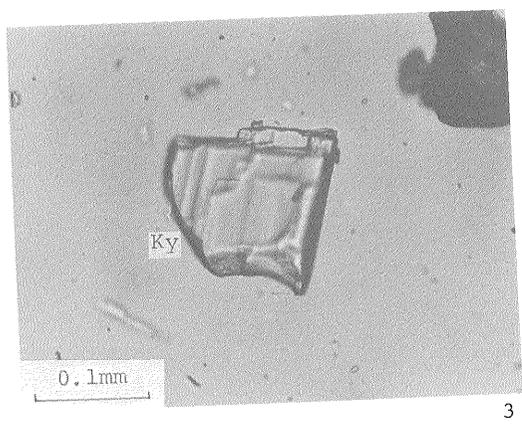
- 1 鹿島海岸 北部区 久慈川河口
- 2 鹿島海岸 北部区 阿字ヶ浦
- 3 鹿島海岸 北部区 平磯港内
- 4 鹿島海岸 北部区 阿字ヶ浦
- 5 鹿島海岸 北部区 阿字ヶ浦
- 6 鹿島海岸 北部区 No.57



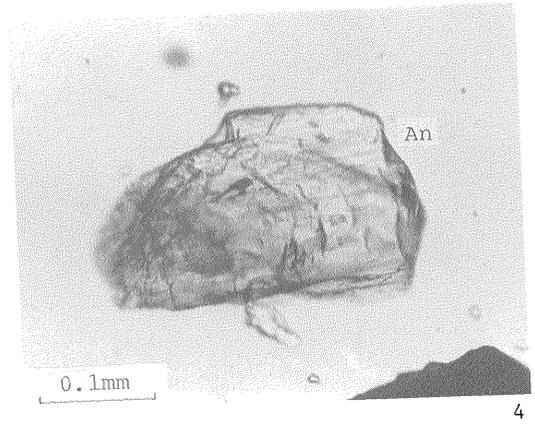
1



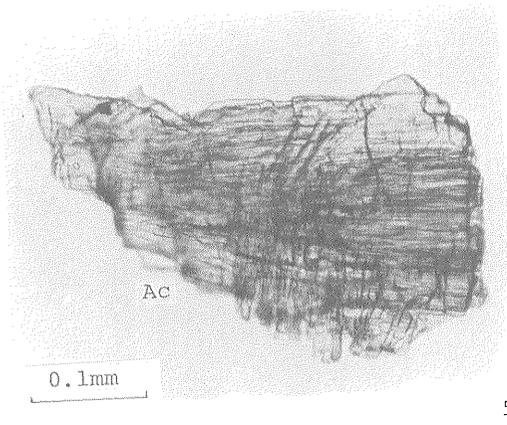
2



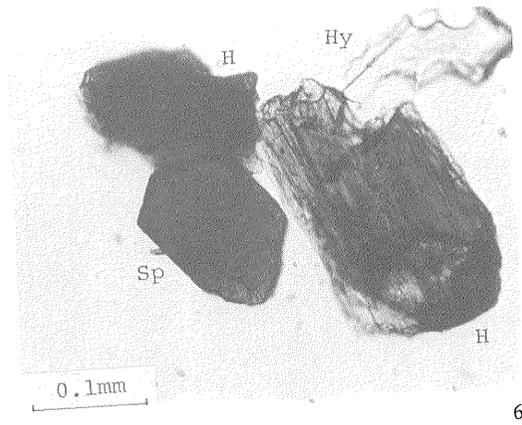
3



4



5



6