

KR01-09沖縄トラフ航海で採取された海底堆積物の 堆積学的・岩石磁気学的研究

川村喜一郎*¹ 池原 研*² 藤岡換太郎*³

KR01-09沖縄トラフ航海によって8本のコア試料がトラフに沿って採取された。本研究では、それらのコア試料の堆積学的特徴である岩相、堆積構造、粒度組成、間隙率、テフラ組成と岩石磁気学的特徴である帯磁率、帯磁率異方性、古地磁気について詳細に報告する。岩石磁気学的特徴は、堆積物の微細組織解析のための有用なツールとなることから、本研究では、それらを用いて古流向解析を行った。その結果、各コアの粗粒粒子の層準で、PC-1は南西→北東、PC-5は西→東、PC-7は北東→南西、PC-9は北東→南西、PC-11は西→東を示すインプリケーションが認められた。このうち、PC-7はその北東延長である伊西海底谷群から、PC-11はサイト近傍のチャンネルからそれぞれ砂がタービディティーカレントによって供給されている可能性が高い。

キーワード：古流向解析、帯磁率異方性、間隙率、粒度組成、テフラ組成、沖縄トラフ

Sedimentological and paleomagnetic study of deep-sea sediments collected during KR01-09 Okinawa Trough cruise

Kiichiro Kawamura*⁴ Ken Ikehara*⁵ and Kantaro Fujioka*⁶

The KR01-09 cruise to the Okinawa Trough by RV *KAIREI* procured cores, 7 piston and 1 gravity, from 8 sites distributed all over the trough. Such basic features of the core sediments as lithology, sedimentary structure, grain size distribution, porosity, and tephra composition, in addition to the magnetic properties, are described in this paper. The magnetic properties are proved to be useful for microfabric analysis, thereby also useful for paleocurrent analysis. The paleocurrent analyses show diverse current directions according to the sites: on PC-1 site it is induced to be from SW to NE; on PC-5 site from W to E; on PC-7' the sediment is turbidites which are judged to have come from Isei deep-sea canyons to NE of the site; on PC-9 site from NE to SW; on PC-11 site, turbidites was brought in from deep-sea canyon to the East of the site. In general, the paleocurrent directions are not necessarily systematically aligned, but dispersed probably owing to the fine submarine topography.

Keywords : Paleocurrent analysis, Anisotropy of magnetic susceptibility, Porosity, Grain size distribution, Tephra composition, Okinawa trough

* 1 財団法人深田地質研究所

* 2 産業総合技術研究所

* 3 海洋科学技術センター

* 4 Fukada Geological Institute

* 5 Geological Survey of Japan, AIST

* 6 Japan Marine Science and Technology Center

1. はじめに

平成13年6月9日～29日に海洋科学技術センターの深海探査研究船「かいれい」によるKR01-09沖縄トラフ航海が実施された。この航海では、沖縄トラフに分布する熱水噴出孔とその周辺の微生物群集を解明する目的で、海底堆積物と岩石がピストンコアラ、グラビティーコアラ及びグラブによって採取された。

本論では、堆積学および岩石磁気学的データを詳細に報告するとともに、本航海で得られたシービーデータ、岩相、堆積構造、物性、粒度組成、テフラ分析などの堆積学的データ、岩石磁気学的なデータに基づく古流向解析などによって、沖縄トラフでの細粒粒子のサスペンションや粗粒粒子のトラクションによる堆積物の運搬・堆積過程を議論することを目指す。物性や粒度は、堆積物の基礎データであるだけでなく、本航海の主目的である微生物群集を解析する上で、微生物の密度などを知るための情報となる。堆積速度や古流向解析に基づく堆積物の輸送過程は、沖縄トラフの埋積過程を考えるための基礎的なデータとなる。さらに、近年¹⁾は、熱水噴出孔に生息する特異な微生物群集を遠洋性粘

土から検出し、熱水噴出孔などからの微生物の拡散・埋没過程が論じている。本航海で得られた堆積物の堆積速度やその輸送過程は、今後、本航海で得られた微生物群集解析データに基づいた微生物の拡散・埋没過程を解明する上でも重要な情報となる。

2. 試料の採取方法、採取地点と試料の船上での取り扱い

ピストンコア・グラビティーコア試料は、「かいれい」の5mピストンコア・グラビティーコアシステムによって採取された。ピストンコアラは、船上に回収され、上下の印をつけた後、5mのステンレスパイプを分離した。ステンレスパイプには、塩ビ製のインナーチューブが挿入されており、堆積物はその中に回収された。堆積物試料は、インナーチューブごと1m毎にのこぎりで切断され、その1m毎に分割されたものは、両端をビニールで覆った。このとき、白(トップ)と赤(ボトム)のビニールテープで両端を色分けした。グラビティーコアは、5mのアルミニウム製パイプを用いて採取され、サンプルは油圧式のコア押し出し器によって押し出され、塩ビ製の半裁されたトイに受けて、およそ1m毎に分割した。これらの1m毎

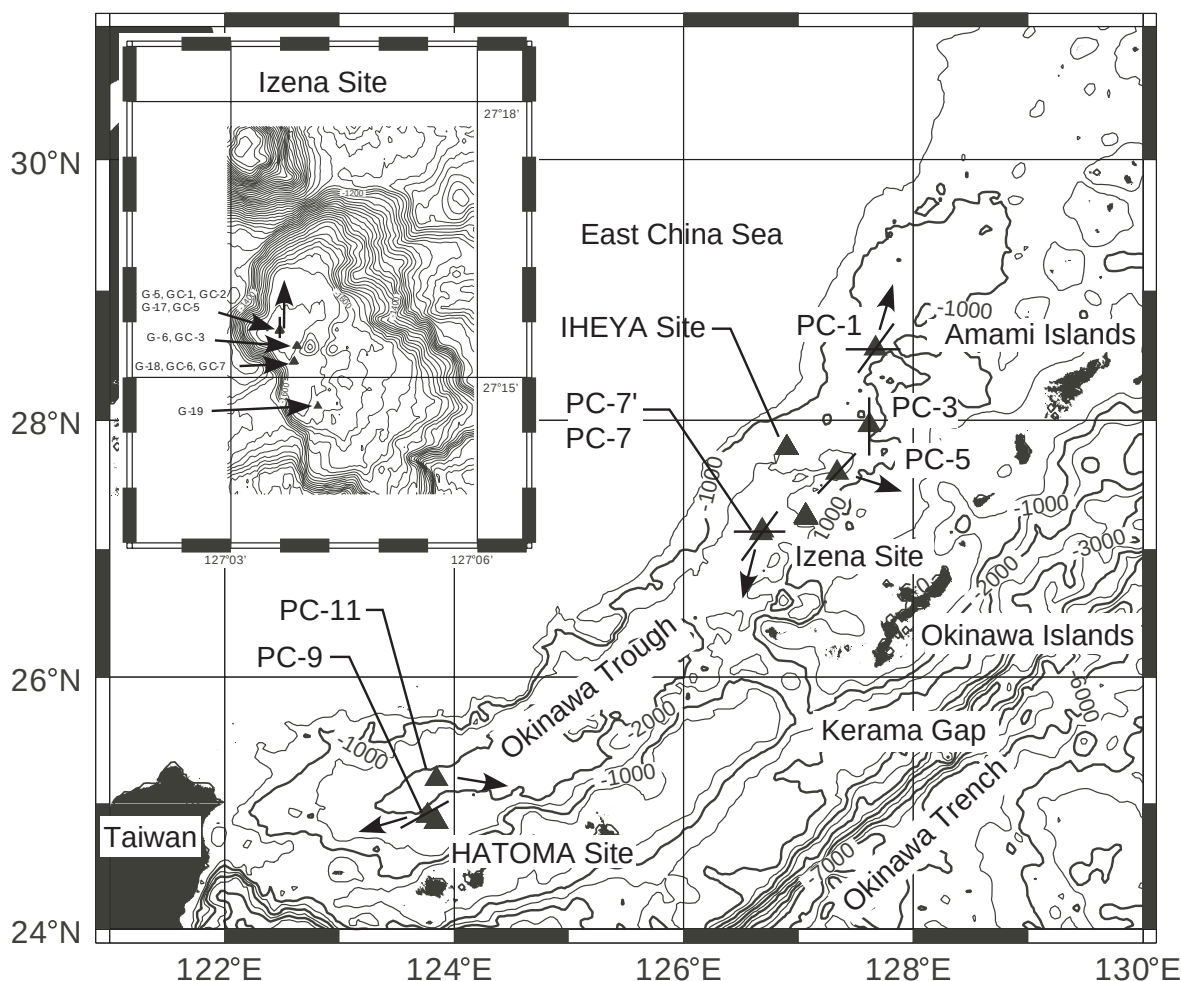


図1 沖縄トラフの海底地形と試料採取地点。左上は、本航海で得られたシービーデータによる伊是名海穴の地形図と試料採取地点。図中の矢印はインプリケーションから推測される古流向を、棒は堆積物粒子のオリエンテーションをそれぞれ示す。

表1 試料採取地点

PC-1	28°33.4233'N	127°40.0888'E	1177 m
PC-3	27°57.9093'N	127°37.0492'E	1334 m
PC-5	27°35.6136'N	127°20.1074'E	1730 m
PC-7	27°08.6699'N	126°40.8790'E	1822 m
PC-7'	27°07.6842'N	126°40.2809'E	1833 m
PC-9	24°54.2397'N	123°45.9989'E	1945 m
PC-11	25°11.7450'N	123°50.6687'E	2222 m
GC-1	27°15.5174'N	127°03.5920'E	1638 m
GC-2	27°15.5145'N	127°03.5879'E	1638 m
GC-3	27°15.3402'N	127°03.8123'E	1643 m
GC-5	27°15.5021'N	127°03.5868'E	1641 m
GC-6	27°15.1726'N	127°03.7706'E	1629 m

の試料は、半裁され、一方を分析用、もう一方を保存用とした。1m毎の半裁試料のうち、分析用は、肉眼記載、コア写真を撮影した後、物性と磁気測定用の約2.2cm³のプラスチックキューブと古地磁気測定用のU-channelケースに試料を採取して研究室に持ち帰った。保存用試料は、色測定(後述)を行った後に軟X線写真測定用試料を採取した。

試料採取地点は、図1と表1に示される。ピストンコアのPC-1は、奄美大島西方沖の南奄西海丘北側の水深1177mの沖縄トラフ北部の採取された。「かいいい」の4kHzのサブボトムプロファイラー(SBP)による結果によると、PC-1サイト付近は、上層部に厚い透明層があり、その下位に成層構造が見られる。それらは複数の正断層によって階段状となっており、PC-1はそれらの断層と断層の間の平坦な海底から採取された。PC-3とPC-5は、沖永良部島西方沖の水深1334mと1730mの沖縄トラフ北部の小窪地から採取された。SBPでは、PC-3サイトに、厚い成層構造が見られた。PC-7とPC-7'は、沖縄本島北西沖の水深1822mと1833mから採取された。両サイトは、沖縄トラフ中部のケラマギャップ北部の厚い成

層構造がみられる平坦な海底である。PC-9とPC-11は、石垣島北方沖の水深1945mと2222mの沖縄トラフ南西部の八重山海底地溝の平坦な海底から採取された(図2)。また、グラビティーコア試料のGC-1, GC-2, GC-3, GC-5, GC-6は、伊是名海穴内部の北西部の表層部に薄く成層構造の見られる平坦な海底から採取された(図1)。

3. 方法

3.1. 色測定, 物性測定, 粒度測定, 軟X線写真撮影, テフラ分析

色測定は、ミノルタ社製分光測色計CM-2002を用い、気泡が入らないようにラップで堆積物を覆った後に、2cm間隔でラップの上からコア試料の平滑面を測定した。測定データは、赤～緑の指標のa*値(値が大きいほど赤い)、青～黄のb*値(値が大きいほど黄色い)、明度のL*値(値が大きいほど黒い)で表される。

物性測定は、船上でキューブに封入した堆積物を用いた。測定には、その封入した1つおきの試料を用いたため、測定間隔は約4cmとなっている。それらの試料の湿潤重量および乾燥重量を測定した後、以下の計算式で間隙率を求めた。

$$\text{間隙率}(\%) = ((W_w - W_s) / \rho_w) * 100 / V$$

W_w: 試料の湿潤重量(g), W_s: 試料の乾燥重量(g), V: 採取体積(cm³), ρ_w : 水の密度(1.0g/cm³)

粒度組成は、物性測定で乾燥させた堆積物のさらに一つおきの試料を0.1g程度カッターで削り取り、熱湯と超音波で分散させた後、CILAS社製CILAS1064レーザー回折式粒度分析装置で測定した。すなわち、粒度測定データは、約8cm間隔となっている。軟X線写真は、ソフロン(株)製軟X線発生装置を用いた。試料の撮影は、40kVp, 2mA, 40秒間の条件で行った。テフラ分析は、テフラ用に船上で採取した試料の一部を63 μ mの篩上で水洗し、組成をチェックした後、京都フィッション・トラックに分析を依頼した。

3.2. 帯磁率及び帯磁率異方性

帯磁率及び帯磁率異方性は、キューブに封入した試料を用いた。その連続試料のひとつおきの試料を測定したため、測定データは約4cm間隔となっている。装置は、AGICO社製帯磁率計KappaBridge KLY-3Sを用いた。この装置は、任意のXYZ軸で低磁場(0.04mT)での帯磁率を測定し、最大帯磁率方向(K_{max}), 最小帯磁率方向(K_{min})と中間帯磁率方向(K_{int})の強度を算出する。帯磁率異方性は、これらの三軸によって楕円体として表される。また、帯磁率は、三軸の平均値で表す。

帯磁率異方性は以下のP, F, L値及びq値のパラメータで表す²⁾。

$$P = K_{min} / K_{max}$$

$$F = K_{int} / K_{min}$$

$$L = K_{max} / K_{int}$$

$$q = (K_{max} - K_{int}) / [0.5 (K_{max} + K_{int}) - K_{min}]$$

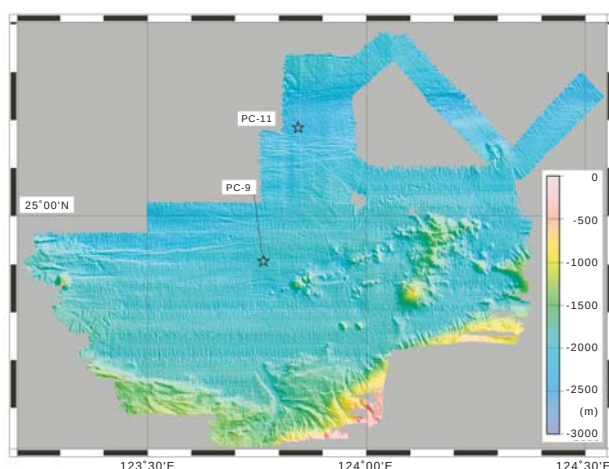


図2 本航海のシービームデータによるPC-9とPC-11の採取地点付近の海底地形

P, F, L値はそれぞれ帯磁率楕円体の異方性程度, 扁平度及び伸長度を表す。q値は粒子配列の二次的攪乱(生物擾乱や試料採取時の乱れなど)を評価するために用いた。

3.3. 残留磁気測定

試料の残留磁気は、帯磁率及び帯磁率異方性の測定に使用した試料を用い、2G-Enterprise社製超伝導パススルー型磁力計2G Model 760で測定した。すなわち、測定データは約4cm間隔となっている。段階交流消磁により80mT(50mTまでは5mT間隔で、50～80mTは10mT間隔)までの測定を行った。得られたデータはベクトル成分図で表し、古地磁気の方位を決定した。

4. 結果

以下にコアごとに肉眼記載、軟X線写真、色測定、物性、粒度、テフラ分析、帯磁率、帯磁率異方性及び古地磁気方

位について記述する。なお、軟X線写真は図3に、テフラ分析は表2に、PC-1, 3, 5と7の各データは図4の1, 2, 3, 4段目に、PC-7, 9, 11とGC-2は図5の1, 2, 3, 4段目にそれぞれ示す。

4.1. 沖縄トラフ北部のPC-1

PC-1はコア長が297cmであり、全体として上方細粒化する火山灰質堆積物からなる。0～8cmまでは、褐色粘土質シルトの表面酸化層で、8～145cmまでが灰色粘土質シルトとなり、145～197cmまでが火山灰質灰色シルトで頻繁に暗灰色の火山灰質シルトの平行葉理を挟み、下位に行くほど平行葉理が多くなる。197～297cmまでは級化構造の見られる火山灰質の灰色シルトで、280cm以深は淘汰のよい火山灰質の粗粒シルトになる。

色測定の結果は、a*値とb*値が0～8.5cmまで相対的に大きい値になっている。これは、全体的に赤みがかった堆積物であることを示唆しており、表面酸化層とほぼ一致する。

間隙率は、下位に行くに従って80%から60%へ減少する傾向が認められる。一方、中央粒径は5μmから15μmへ増加する。このことから、間隙率の減少は、粒径の増加による

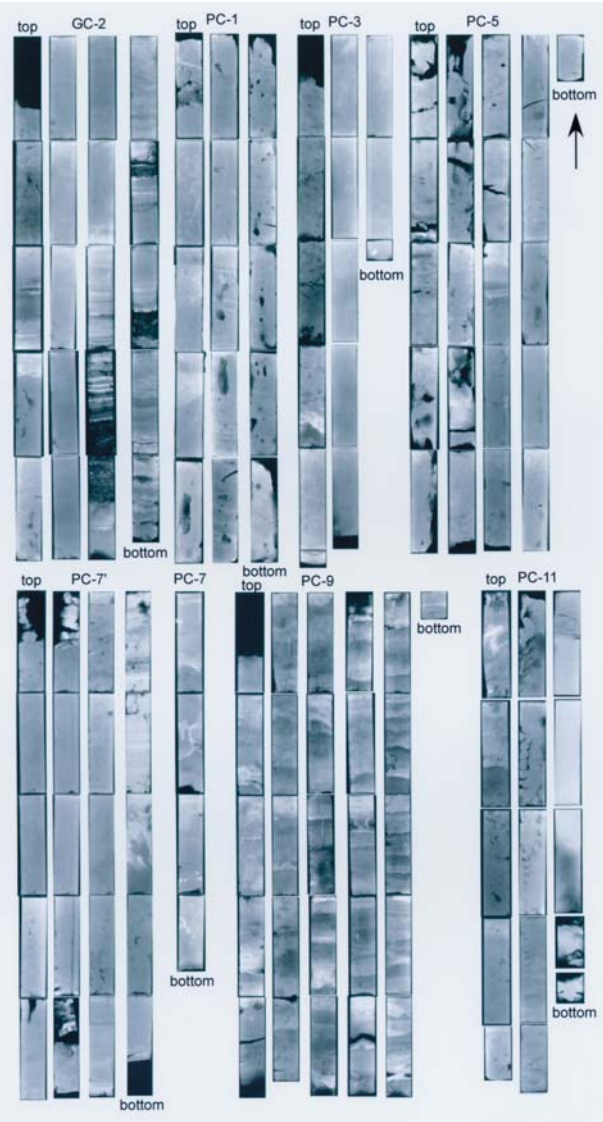


図3 軟X線写真。試料の幅は、6.5 cm。

表2 テフラ分析の結果。ガラスの形状のbw, H, C, Tはそれぞれバブルウォール型, 扁平型, 中間型, 多幸質型を表し、分類は¹⁷⁾による。Haは、平板状で突起のない火山ガラス, Hbは、平板状の面に1～3本の直線状・曲線状の突起がある火山ガラスを表す¹⁷⁾。重鉱物のBt, Opqはそれぞれ黒雲母, 不透明鉱物を表す。

Core	Depth	Glass Type	Heavy minerals	Index	Correlation
KR01-PC1	149-151	bw, Ha>Hb	Bt, Opq	1.503 (1.5000-1.5060)	H, C K-Ah
				1.5116 (1.511; 1.5089-1.5150)	H, C, T
				1.5199	C, H
				1.5011	H, C K-Ah
	209-211	bw, Ha, Hb	(Bt)	(1.4969-1.5060)	
				1.5119	H, C, T
				(1.511; 1.5092-1.5161)	
				1.5251	T, C
	294-296	bw, Ha>Hb	(Bt)	1.5031	H, C K-Ah
				(1.5003-1.5058)	
				1.512	H, C, T
				(1.511; 1.5101-1.5162)	
KR01-PC3	99-101	bw, Ha>Hb	(Bt)	1.5271	T, C
				1.5032	H, C K-Ah
				(1.5001-1.5063)	
				1.5117	H, C, T
				(1.511; 1.5099-1.5147)	
KR01-PC4	220-224	bw, Ha>Hb	(Bt)	1.5232	T, C
				(1.5207-1.5257)	
				1.5034	H, C K-Ah
				(1.5006-1.5063)	
				1.5119	H, C, T
KR01-PC5	225.5-227.5	bw, Ha>Hb>Tb	(Bt)	(1.511; 1.5103-1.5159)	
				1.527	T, C
				1.5027	H, C K-Ah
	236.5-240.5	bw, Ha, Hb	(Bt)	(1.5003-1.5050)	
				1.5118	H, C, T
				(1.511; 1.5096-1.5160)	
				1.5256	T, C
				1.5027	H, C K-Ah
				(1.5000-1.5054)	
				1.5119	H, C, T
				(1.5100-1.5160)	
				1.5231	T, C
				(1.5196-1.5266)	

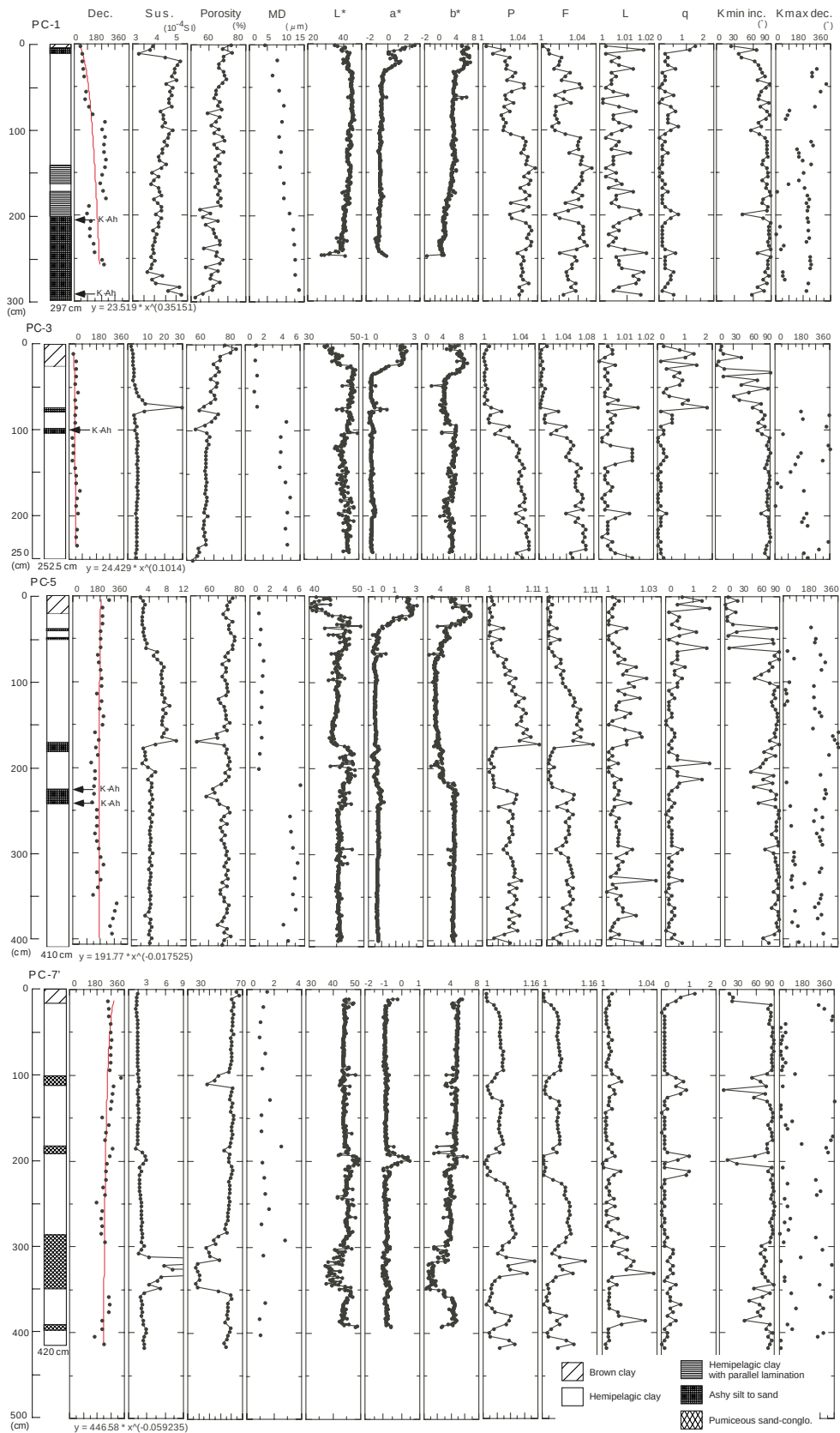


図4 PC-1, 3, 5, 7の測定データ。左のコラムから順に岩相, 古地磁気の偏角(Dec.), 帯磁率(Sus.), 間隙率(Porosity), 中央粒径(MD), 色測定(L*a*b*), 帯磁率異方性のパラメータ(P, F, L, q, Kminの伏角, 古地磁気の偏角によって再計算したKmaxの偏角のうち初生的構造の指標によって選択されるデータ)。岩相右横のK-Ahは、アカホヤ火山灰層を、直下の数字はコアの長さを示す。古地磁気の偏角のコラム直下の数式は、その偏角プロットから計算される回帰曲線の式。その回帰曲線は、偏角コラム内に描いてある。

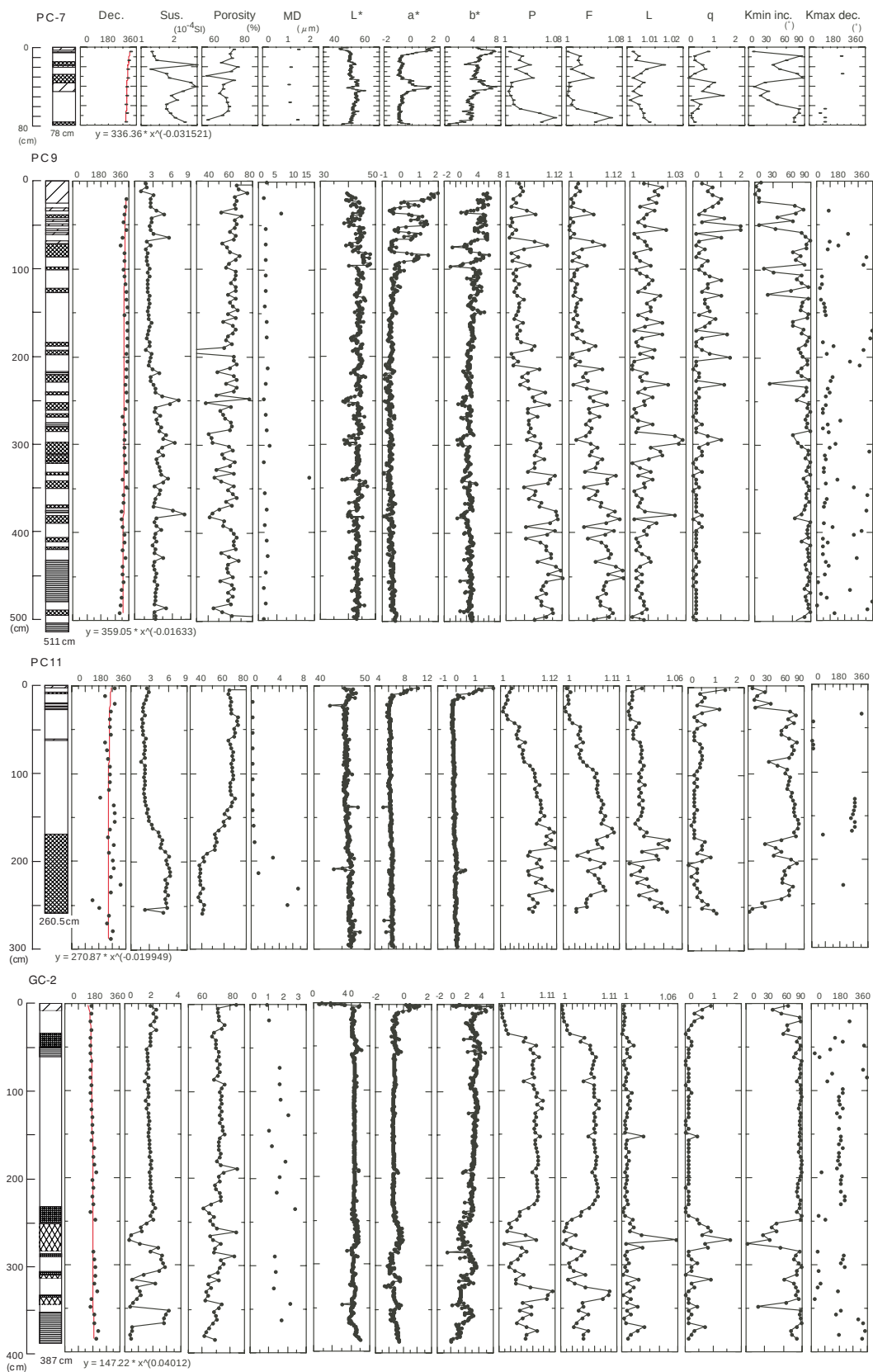


図5 PC-7, 9, 11とGC-2の測定データ。左のコラムから順に岩相, 古地磁気の偏角(Dec.), 帯磁率(Sus.), 間隙率(Porosity), 中央粒径(MD), 色測定(L*a*b*), 帯磁率異方性のパラメータ(P, F, L, q, Kminの伏角, 古地磁気の偏角によって再計算したKmaxの偏角のうち初生的構造の指標によって選択されるデータ)。岩相右横のK-Ahは, アカホヤ火山灰層を, 直下の数字はコアの長さを示す。古地磁気の偏角のコラム直下の数式は, その偏角プロットから計算される回帰曲線の式。その回帰曲線は, 偏角コラム内に描いてある。

ものである可能性が高い。

テフラ分析では、149～151cm, 209～211cmと294～296cmで表2に示されるように鬼界-アカホヤ火山灰(K-Ah)が検出された。PC-1は、上方細粒化する火山灰質堆積物であること、K-Ahのガラスがシルト層でも認められること、さらに、SBPの記録でPC-1採取地点の表層部に厚い透明層が認められ、一連のプロセスで堆積したと推定できることから、PC-1はコア全体がK-Ah層あるいはその再移動堆積物であると考えられる。

帯磁率は深度とともに減少する傾向にあり、磁性鉱物が相対的に下位ほど減少することを表している。その大きさは $3\sim5\times10^{-4}$ オーダーであり、²⁾によると、強磁性鉱物と常磁性鉱物が混在していることを示唆する。帯磁率の異方性の度合いと扁平度を表すP、F値は深度とともに増加する傾向にある。この傾向と帯磁率異方性のKmin(すなわち磁性粒子が最も並んでいない方向)の伏角が90°であることと併せて考えると、PC-1は下位ほど堆積物粒子が水平配列の度合いが強くなると言える。

4.2. 小窪地のPC-3及びPC-5

PC-3(コア長252.5cm)とPC-5(コア長410cm)は、ともに0～35cmに表面酸化層があり、それより下位が主に均質な灰色～オリーブ色の粘土質シルトである。しかし、PC-3は75～77cmと99-103cmに、PC-5は37～38cm, 51～53cm, 169.5～173.5cmと225.5～240.5にやや粗粒な火山灰質の層準が見られ、軟X線写真では、それらの層準で平行葉理が見られる。

テフラ分析では、PC-3およびPC-5の、それぞれ99-103cmと225.5-240.5cmの火山灰層が、K-Ah火山灰に同定される(表2)。K-Ahの年代を7325年前³⁾とすると、PC-5の堆積速度は32.83cm/ky, PC-3は14.06cm/kyとなり、PC-5はPC-3の2倍以上の堆積速度となる。

色測定の結果は、a*値とb*値がPC-3とPC-5でそれぞれ0～40cmと0～50cmで値が大きくなっており、表面酸化層におおよそ一致する。また、K-Ah層準以深でともに、b*値が増加、すなわち黄色くなる傾向がある。

間隙率は、PC-3で深度とともに80%から60%まで減少する傾向が見られるが、PC-5でそのような減少傾向は認められない。中央粒径は、両コアともに、K-Ah層準以浅で1 μ mであるのに対し、以深で4～6 μ mとなる。PC-3の間隙率の減少は、中央粒径と相関がないことから、圧密効果によるものと考えられる。

これらのコアの帯磁率は、コア深度による変動がほとんどなく、その大きさのオーダーからやはり強磁性鉱物と常磁性鉱物の寄与が予想される。しかし、PC-3では火山灰層に対応する75～77cmで帯磁率が 3×10^{-3} オーダーに急激に増加し、この層準の強磁性鉱物含有量が高いことを示す。帯磁率異方性のP、F値は、PC-3とPC-5の0～77cmで深度とともに増加する傾向がある。それらの層準でKminの伏角は深度とともに徐々に90°になり、これらの層準もPC-1と同様に堆積物粒子が下位に行くに従って、水平方向に徐々に変化する傾向がある。

4.3 ケラマギャップ北部のPC-7及びPC-7'

PC-7(コア長78cm)は、0～8cmに褐色シルトの表面酸化層が認められ、15～17cm, 28～31cm, 76～79cmに極細粒砂が挟まれる灰色粘土質シルトである。色測定のa*値とb*値は、0～8cmに表面酸化層の存在を示唆する。間隙率は、下位に行くに従って70%から65%に減少し、特に砂部で50～60%に著しく減少する。

一方、PC-7'(コア長420cm)は、0～10cmに褐色シルト質粘土の表面酸化層がある。それ以深は全体を通して灰色～オリーブ色の泥質堆積物であるが、100～114cmと181.5～192.5cm, 285.5～350cmと389.5～392cmに4枚の上方細粒化する火山灰質の砂層があり、285.5～350cmには軟X線写真で明瞭な平行葉理が観察される(図3)。それらの砂層は基底部で下位を浸食しており、タービダイトであると考えられる。

PC-7の間隙率は、上記の4枚のタービダイト層の基底部から上位に向かって徐々に増加している傾向がある。中央粒径を見ると、間隙率ほど顕著ではないが、それらのタービダイト砂部で中央粒径が大きくなる。

帯磁率は、タービダイト砂部で大きくなる傾向があり、特に310～360cmでは、 10^{-3} オーダーになる。P、F値は、1枚のタービダイト層で上位に行くほど値が減少しており、最上位の数10cmの粘土層の層準で値が最も小さくなる傾向がある。また、Kminの伏角は、P、F値の最も小さい層準で0°に近くなる。これは、1枚のタービダイト層で上位に向かうに従って、その堆積物粒子の水平配列の度合いが徐々に減少し、タービダイト層の最上位では、粒子がランダム配列になっていることを表す。

4.4. 沖縄トラフ南西部のPC-9及びPC-11

PC-9は、灰色シルト質粘土層に厚さ数cm～数十cmの級化構造を示すシルト～砂層が30枚以上挟まれる。それらは、基底部で、下位の粘土部を明瞭に浸食していることから、タービダイト層であると考えられる。また、0～70cmまで厚さ数cmの褐色シルト質粘土層が頻繁に挟まれる。一方、PC-11は、0～30cmまで褐色シルト質粘土が灰色シルト質粘土に頻繁に挟まれる。以下、30～60cmまでが灰色シルト質粘土となり、60～260.5cmまでは上方細粒化する細粒砂～粘土層になる。

色測定は、PC-9で0～100cmまでa*値とb*値の大きな変動が見られるが、それ以深ではa*値、b*値、L*値ともに変動はない。PC-11では、0～15cmで表面酸化層が検出される。

間隙率は、PC-9で深度とともに80%から50%に減少する傾向が認められ、PC-11でも同様に深度とともに間隙率が70%から30%に減少する。中央粒径は、PC-9では大きな変動が認められないが、これは測定試料の間隔(約8cm間隔)が各タービダイト層の厚さよりも大きいために、各タービダイトの粒度変化をとらえきれないためと考えられる。一方、PC-11では、深度とともに中央粒径が2 μ mから6 μ mに増加する。このうち、少なくとも深度60cm以深のものは、一つのタービダイト層の級化構造を表している。PC-11の間隙率は中央粒径と逆相関していることから、この間隙率の減少は、

粒度効果によるものであると言える。

帯磁率は、両コア試料とともに、おおそ 10^{-4} オーダーであり、深度とともに増加する傾向にある。PC-9は、各タービダイト層の下位で大きい傾向がある。

PC-11のP、F値は、埋没深度とともに大きくなる傾向にあるが、タービダイト層の基底部付近で急激に減少する。PC-11のKmin伏角は、タービダイト全体を通して $60\sim 70^\circ$ 程度で推移していることから、タービダイト層の堆積物粒子は、水平配列しているというよりも、むしろある程度傾斜して配列していると予想される。

一方、PC-9は、小刻みな変動を繰り返しながら、P、F値が下位に行くに従って増加する。Kminの伏角は表層1m程度まではばらつくが、それ以深ではほぼ 90° で推移している。すなわち、PC-9では、下位のタービダイト層ほど粒子の水平配列が顕著であると言える。

4.5. 伊是名海穴のGC-1～6

GC-1～6は、伊是名海穴北西から採取され、主に泥質堆積物からなるが、粗粒砂～細礫サイズの粗いパミス層を挟むことで特徴づけられる。GC-1、5、6は、表層部(それぞれ50cm、25cm、25cm深度までの表層)にコアラー頂部の穴からパイプ内に流れ込んだと思われる堆積物が見られる。

今回研究対象としたGC-2について肉眼記載を以下に記述する。コアは0～6cmに褐色の表面酸化層が見られる。それより下位は、主として暗灰色～オリーブ色の泥質堆積物であるが、36～40cmと40～48cmに細粒砂～シルトへ上方細粒化するタービダイトが見られ、そのすぐ下位の49.5～57.5cmに極細粒砂～シルトサイズの数mmの厚さの平行葉理が頻繁に観察される。228～280cmには、パミス細礫から火山灰質シルトへ上方細粒化する層が見られる。284.5～285.5cmには黒色極細砂が、310～318cmと339～388.5cmには、灰色の上方細粒化するパミス質の細粒砂～極細粒砂層がある。356.5～387cmは、灰色のパミス質の細粒砂～極細粒砂の薄いラミナが頻繁に挟まれており、下位ほどラミナは厚くなる。

軟X線写真では、試料採取の時に粗いパミス層の一部が脱落してしまったため、黒っぽく撮影されている(図3)。228～280cmの上方細粒化する層では、パミス層の上位に明瞭な平行葉理が約40cm厚にわたって観察される。またそれより下位の310～318cmと339～388.5cmの層準でも、パミス層の上位に約5cm厚の平行葉理が観察される。

GC-2の色測定では、表層6cmまで表面酸化層があることがわかる。間隙率は、約70%でそれほど大きな変動はしないが、粗粒部である228～280cmでは若干減少している。中央粒径は、コア全体を通して $1\sim 3\mu\text{m}$ であるが、228～280cmの粗粒部では今回用いた測定器では粗粒すぎるため測定不能だった。

GC-2の帯磁率は、ほぼ 10^{-4} オーダーであるが、250cm以深のパミス層が頻繁に見られる層準でばらつく傾向がある。P、F値とKminの伏角から、250cm以浅で粒子は水平配列していることがわかる。それ以深のパミス層が頻繁に見られる層準では、P、F値が小さくなる層準がある。Kminの伏角はパミス層で 0° に近づく傾向がある。

5. 古流向解析

上記の堆積物の輸送経路や供給源を明らかにするために、岩石磁気学的に以下に示す方法によって古流向解析を行った。

まず、測定された古地磁気データからコンピューターソフトウェアを用いて、回帰曲線を求め、経年変化などによるデータのばらつきを取り除いた。上記によって得られたデータを磁北とした。次に、帯磁率異方性のKmaxとKminの偏角方向から、磁北の偏角方向を差し引きして、磁北を基準とした帯磁率異方性のKmaxとKminの偏角を求めた。次に、堆積物の二次的変形(生物擾乱、脱水などによる二次的な乱れ)を示すデータを選択排除するために、2)に準じて、経験的に作られた初生的構造の指標($0.06 < q < 0.67$, Kmax伏角 $< 20^\circ$, $F > L$)によって選択されるデータを選択した。そして、それらのデータを岩相ごとに分け、ステレオネットに投影した。ステレオネットから判断される堆積構造、特に古流向を示唆するインプリケーションについて、^{4) 2) 5)}に基づいて検討した。

5.1. 帯磁率異方性のステレオプロットと解釈

磁北を基準とした帯磁率異方性のKmaxの偏角のうち初生的構造の指標によって選択されたデータのみを図4と図5の右端のコラムに示す。それらを各コア試料ごとに岩相分けし、ステレオプロット(下半球投影)したものを図6と図7に示す。^{4) 2) 5)}によると、堆積物のインプリケーションは、Kminの方向によって表され、それによって古流向を判定できる。また、Kmaxの偏角が集中する方向もインプリケーションの方向を表すとしている。本研究では、これに基づいて、インプリケーションから解釈できる各コア試料の古流向を図1に矢印で示す。また、ステレオプロットでKmaxの偏角が集中するが、Kmin方向が垂直になる場合、これを粒子配列(オリエンテーション)方向として試料採取地点に直線で図1に示す。

5.1.1. 沖縄トラフ北部のPC-1

PC-1は上位の粘土質部に東～西、最下位の粗粒部では北東～南西のオリエンテーションがある(図6)。一方、中位の平行葉理部では、Kmaxが南西に傾斜し、Kminが北東に傾斜する傾向が認められることから、堆積物は南西に傾斜するインプリケーションを示している。このことから、PC-1は、平行葉理部においては、南西→北東の流れによって堆積したと推測される。

5.1.2. 小窪地のPC-3及びPC-5

PC-3は南～北方向のオリエンテーションが認められるのに対し、PC-5はおおよそ東～西方向のオリエンテーションが認められる(図6)。また、PC-5では、180～250cmまでの層準は、西または北に傾斜するKmaxのプロットが集中し、Kminも東に傾く傾向、すなわち、西に傾くインプリケーションが示唆され、東→西の古流向が推測される。

5.1.3. ケラマギャップ北部のPC-7及びPC-7'

PC-7'は、泥質部では北東～東～南西～西のオリエンテーションが見られるのに対し、砂層ではKmaxが北に傾斜

し、Kminが南に傾斜する傾向、すなわち、北に傾くインプリケーションが示唆される(図6)。このことから、PC-7'の砂層の古流向は、沖縄トラフに沿う北→南と推測される。

5.1.4. 沖縄トラフ南西部のPC-9及びPC-11

PC-9は、粘土部、タービダイト部とともにKmaxが東～北東に、Kminが西～南西に傾斜する傾向が見られる(図7)。これは、東から北東に傾くインプリケーションを表しており、北東～東方向から堆積物が輸送されたことが示唆される。

一方、PC-11は、0～60cmの粘土部で北に傾斜するインプリケーションが、その下位の粘土部で西に傾斜するインプリケーションが認められることから、西側もしくは北側にその供給源が予想される(図6)。

5.1.5. 伊是名海穴のGC-2

GC-2は全体的に南北にKmaxが集中している傾向が見られる(図6)。特に、50～225cmの層準では、Kmaxが南に緩く傾斜している傾向(インプリケーション)が見られる。

GC-2は泥質部において、南に傾斜するインプリケーションが見られることと、それ以外の岩相において、Kmaxが主に南北方向に集中していることから、堆積物は南から供給されている可能性が高い。GC-2の南方から採取されたGC-6は、主に粗粒パミスからなる試料であることから、GC-6が供給源に近いために、より粗粒な堆積物からなっていると考えられる。

6. 議論

本航海で採取された堆積物の主として砂部のインプリケーションから推測される古流向は、PC-1が南→北、PC-5が東→西、PC-7が北→南、PC-9が東→西、PC-11が西→東、GC-2が南→北であった。インプリケーションから推測される古流向は、粒子のトラクションによる運搬経路を考察する上での重要な情報である。一方、オリエンテーションは泥質部で見られることから、細粒粒子のサスペンションによる輸送に定方向の流れが関係していることを示唆していると考えられる。

次に、過去に報告された堆積物と本研究での主に古流向解析の結果を比較し(図8)、沖縄トラフでのトラクションや

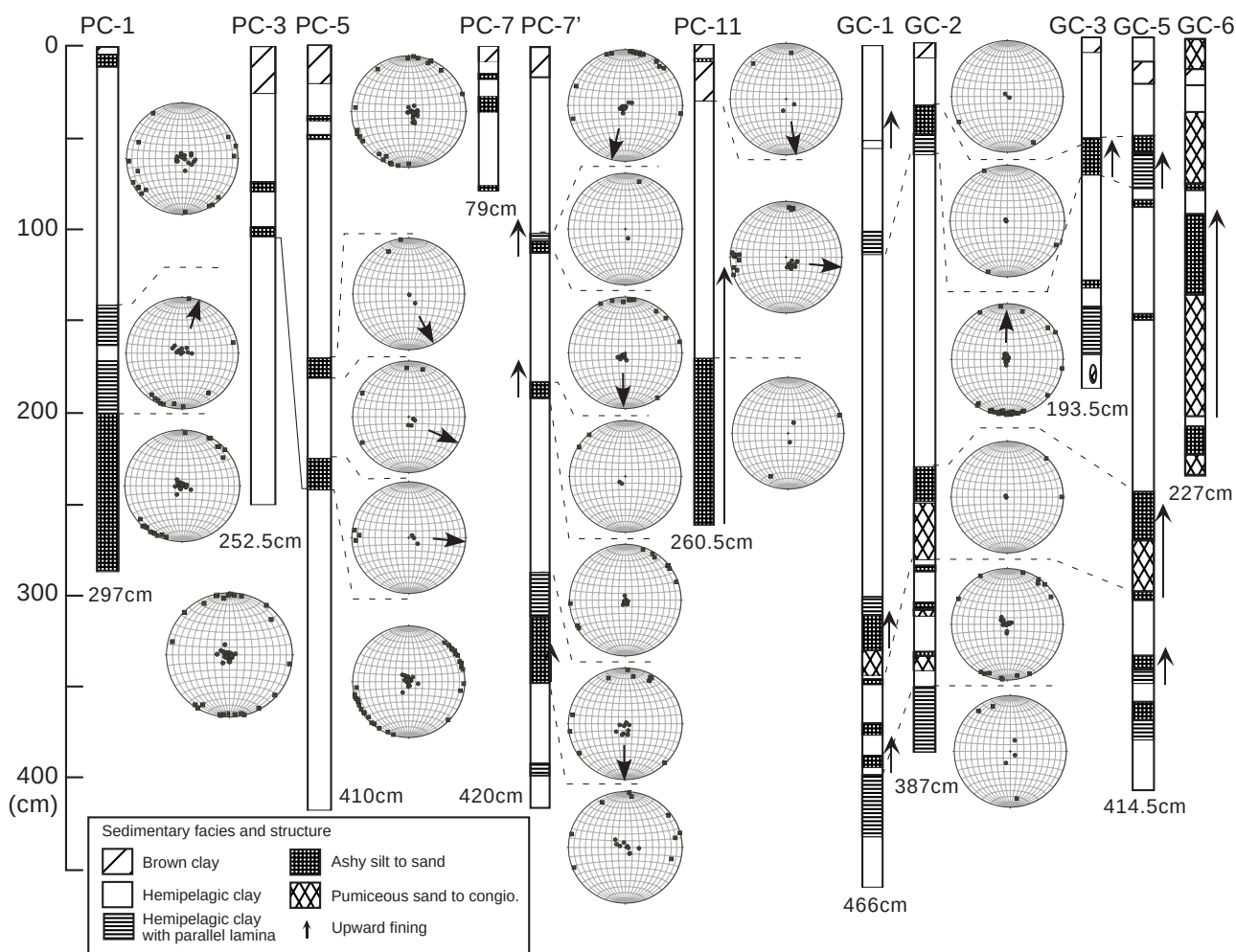


図6 伊是名海穴内で採取されたコア試料の対比とGC-2及び、沖縄トラフで採取されたコア試料の帯磁率異方性のKmax(黒丸)とKmin(黒四角)のステレオプロット(下半球投影)。

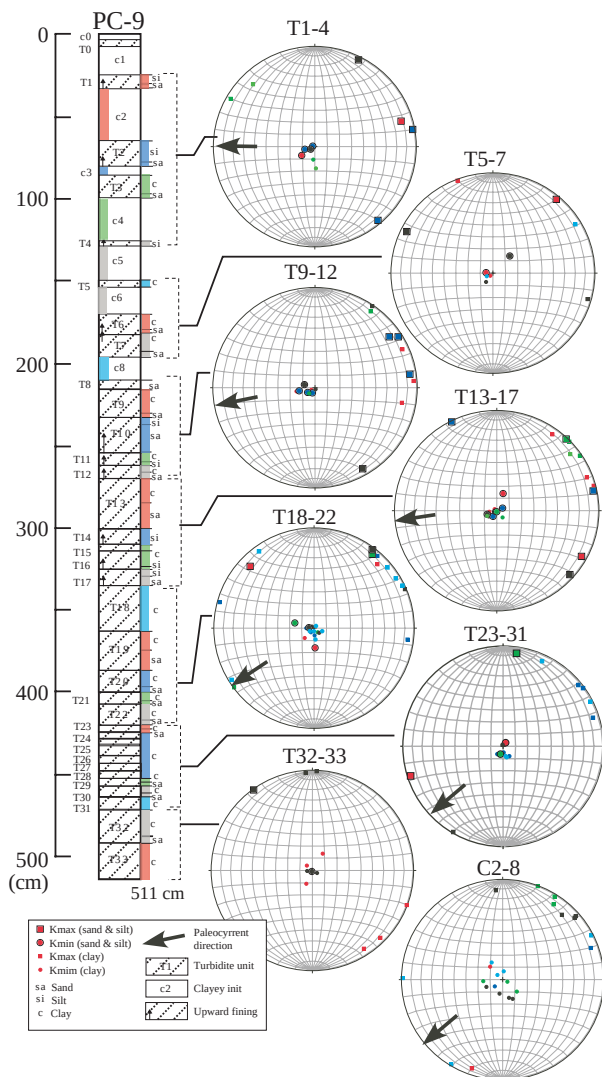


図7 PC-9の帯磁率異方性のKmax(黒丸)とKmin(黒四角)のステレオプロット(下半球投影)。矢印は、プロットから推定される古流向を示す。Tはタービダイト層, Cは粘土質層を示す。タービダイト層内のcは粘土層, siはシルト層, saは砂層を示す。ステレオプロット内の黒棒プロットはシルト層と砂層のデータを黒棒のないプロットは粘土層のデータをそれぞれ示す。

サスペンションによる粗粒粒子と細粒粒子の輸送過程について論じる。尚, 以下に記述されるGH75番号のコアは^(6) 7)で, 833~894は⁽⁸⁾で, OKPCHF番号のコアは⁽⁹⁾で, RN番号のコアは⁽¹⁰⁾で報告された試料である。

PC-1付近の沖縄トラフ底では, GH75-P68で泥質堆積物が報告されているが, より陸棚斜面に近いRN93-PC1とPC-3では, 厚い火山灰層が確認されている⁽¹⁰⁾。PC-1の古流向は, 南→北であるので, PC-1サイトの南延長上に供給源が推測されるが, その延長上から採取されたGH75-P67は泥質堆積物であり, PC-1に見られた厚い鬼界-アカホヤ火山灰層を供給できるような堆積物ではないことがわかる。今後, SBPデータや他のコア試料の解析を行うことによってPC-1で

の堆積過程を解明したい。

PC-3とPC-5付近からは, 泥質堆積物であるGH75-P68が採取されており, その堆積物にはPC-3と同様に粗粒層が2枚挟まれている。PC-5の砂サイズの火山ガラスを多量に含むK-Ah層で, 西→東のインプリケーションが認められた。このコアは小窪地から採取され, 窪地の周囲の地形にも起伏があることから, 堆積物の輸送過程を考察するにはSBPやシービームデータを総合的に解釈する必要がある。一方, 泥質部のオリエンテーションは, PC-3が南-北, PC-5が北東-南西であり, このサイト付近でのサスペンションによる細粒粒子の輸送に底層流が関与していることが示唆される。

PC-7の古流向は, 北東→南西であった。古流向から推測される試料採取地点より下流側(南西側)で採取されたGH75-P66と894と, 上流側(北東側)の883は, 数cm~数10cm程度の主に級化構造を示す砂層を挟んでおり, PC-7と類似した岩相を示す。上流側のさらに北東延長には, 伊西海底谷群があり, その付近で採取されたRN93-PC3は, 砂層を頻繁に挟んでいる。これらのことから, PC-7は, 海盆に沿って砂がタービディティ-カレントによって北東→南西に供給されており, 伊西海底谷群がその供給源である可能性が高い。一方, 泥質部では, 東-西と北東-南西方向のオリエンテーションが見られ, 細粒粒子のサスペンションによる輸送が示唆される。しかし, PC-7の近傍のJAST01サイト⁽¹¹⁾で行われた1年間の流向流速計による測定では, 定常的な底層流は確認されなかった。PC-7で見られるオリエンテーションは, より長期的な流れを表しているのかもしれない。

PC-9付近の海底地形を見ると, 東-西に伸びる正断層で境されている細長い地溝があり(図2), この地溝に沿ってタービダイトが西→東に供給されていると予想される。しかし, 今回の古流向解析によると, PC-9の古流向は, 北東~東→南西~西であった。古流向から推測されるPC-9の上流側の北東~東側には, ^(12) 13) 14) 15)の海底地形図や, さらに今回得られたシービームデータ(図3)を見ても, 供給源となりそうな斜面やチャンネルは存在しない。また, ⁽¹⁶⁾は, RN88-PC5とRN93-PC-8が泥質であることから, 沖縄トラフ南端では, チャンネルがあまり発達していないことを示した。これらのことは南側や北側からのタービダイトの流れ込みの可能性が低いことを示している。過去の報告例を見ると, PC-9のわずかに北で採取されたGH75-P25は, PC-9同様に級化構造を示す薄いタービダイトの繰り返しを観察されるが, 近傍の868は泥質堆積物である。おそらくこの付近は, タービダイトの供給源から離れたディスタルであるために, 薄いタービダイト層もしくは泥質堆積物からなっていると考えられる。PC-9の古流向解析の結果の解釈は, 今後の課題である。

PC-11が採取されたチャンネルの西の延長上には, 台湾東部から東-西に発達する海底谷(Canyon C⁽¹³⁾)があり, その東延長上には, シービームによって蛇行するチャンネルが確認されている⁽¹³⁾。⁽¹²⁾によれば, PC-11サイトの西には南西魚釣海底谷や西魚釣海底谷がある。そしてこれらの海底谷からは, 北西-南東方向の直線的なチャンネルが発達していることが^(14) 15)で確認できる。また, ^(14) 15)によって, 魚釣海丘の

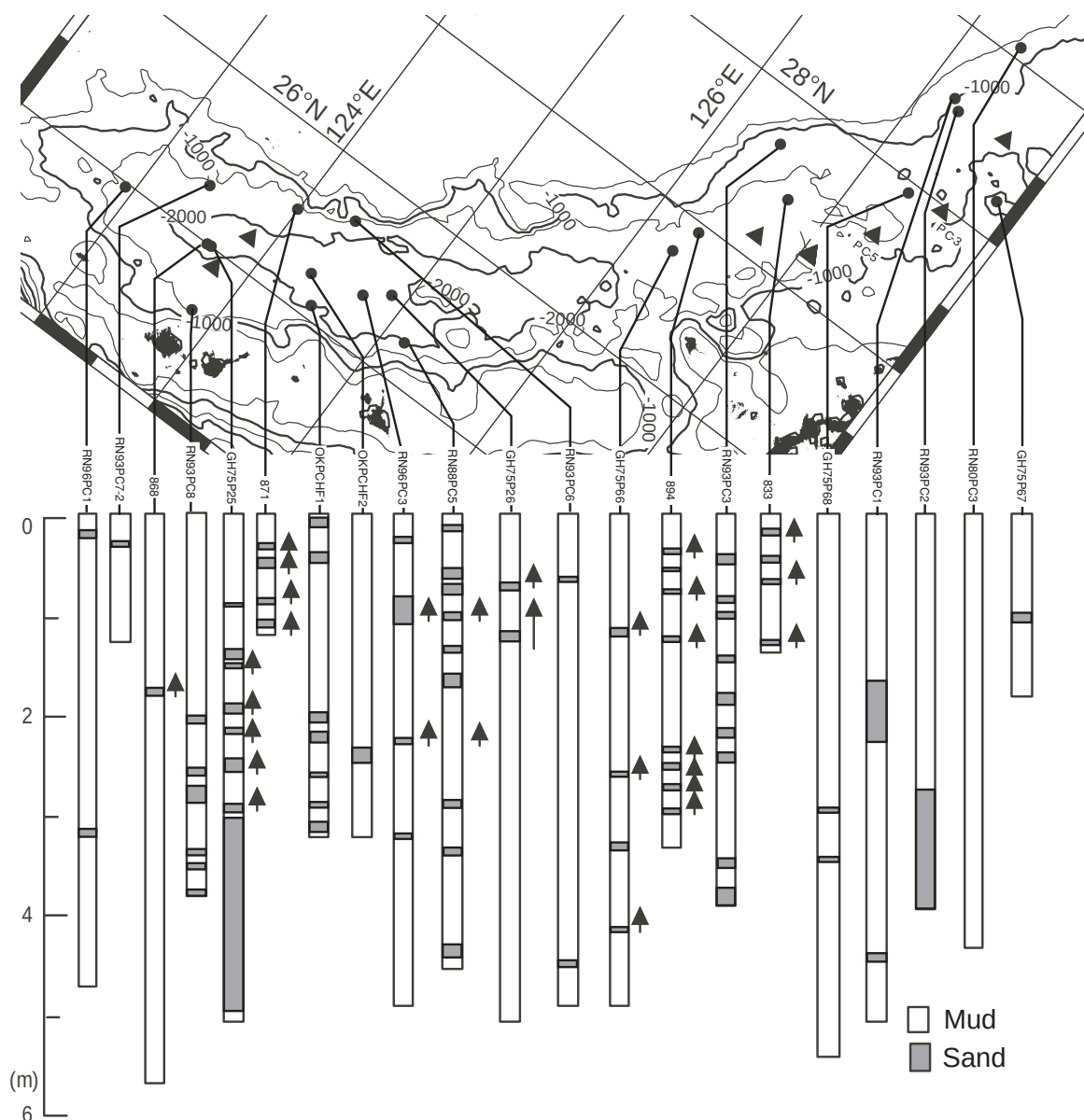


図8 過去に採取されたコア試料採取地点とコアの岩相。GH75番号のコアは6) 7)で、833～894は8)で、OKPCHF番号のコアは9)で、RN番号のコアは10)報告されたものを引用した。岩相図の矢印は上方細粒化を、ハッチは砂層を、白色は泥質層をそれぞれ表す。

すぐ西側にも北西－南東方向の直線的なチャンネルが確認できる。PC-11はおそらくこれらのいずれかの海底谷を通して供給されたと考えられる。PC-11のタービダイトが厚いことを考えると、それを供給しているチャンネルはさほど離れていないと予想される。また、PC-11の東延長上から採取されたRN96-PC1, RN93-PC7-2は、泥質であることから、PC-11の供給源は、試料採取地点から西側で最も近い魚釣海丘のすぐ西側のチャンネルの可能性が高い。また、PC-11の下流側と考えられるチャンネルの東延長上のOKPCHF-P1と-P2, RN96-PC3, GH75-P26は、数cm～数10cmのタービダイト砂層が見られることから、おそらくPC-11に供給されているタービダイトは、八重山海底地溝に沿って西→東に輸送されていると予想される。

7. まとめ

本研究によって、KR01-09航海で採取されたコア試料の物性、粒度組成、堆積構造、堆積速度、帯磁率、帯磁率異方性、古地磁気方位が明らかにされた。また、岩石磁気学的な古流向解析によって、各コアのインプリケーションに基づく古流向が以下のように明らかにされた。PC-1が南→北、PC-5が東→西、PC-7が北→南、PC-9が東→西、PC-11が西→東、GC-2が南→北であった。そのうち、PC-7は伊西海底谷群、PC-11は魚釣海丘のすぐ西側の北西－南東方向の直線的なチャンネルから、それぞれタービダイト砂が供給されていると予想される。一方、泥質部は、細粒粒子のオリエンテーションが認められ、それは沖縄トラフの伸張方向である北東－南西方向のものが多く、細粒粒子の海底付近でのサスペンションによる輸送が示唆される。

謝辞

本研究を進めるにあたり、産業技術総合研究所の山崎俊嗣博士と海洋科学技術センターの金松敏也博士には、古地磁気測定と帯磁率・帯磁率異方性測定のための装置でお世話になった。熊本大学の渋谷秀敏教授と熊本大学大学院生の釘本温史氏には、古地磁気や帯磁率の結果を議論していただいた。筑波大学の本山功博士には、沖縄トラフに関係する文献を詳しく紹介していただいた。また、KR01-09航海の主席研究員の海洋科学技術センターの高井研博士をはじめとする乗船研究者の方々、松浦由孝氏をはじめとするマリン・ワーク・ジャパンの方々、並びに請蔵榮孝船長をはじめとする乗組員の皆様には、航海の調整からコア試料の採取処理において、大変お世話になった。また、財団法人深田地質研究所の佐藤正理事長には、英語要旨の修正を行っていただき、また、本文の議論で貴重なコメントをいただいた。以上の方々に、記してお礼申し上げます。

引用文献

- 1) Inagaki, F., Takai, K., Komatsu, T., Kanamatsu, T., Fujioka, K. and Horikoshi, K., "Archaeology of Archaea: geomicrobiological record of Pleistocene thermal events concealed in a deep-sea seafloor environment", *Extremophiles*, 5, 385-392 (2001).
- 2) Tarling, D. H. and Hrouda, F., *The magnetic anisotropy of rocks* (Chapman and Hall, New York, 1993) p. 217.
- 3) 福沢仁之, "天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物", 第四紀研究, 34 (3), 135-149 (1995).
- 4) Taira, A., "Magnetic fabrics and depositional processes", in *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*, A. Taira and F. Masuda, Eds. (Terra Pub., Tokyo, 1989) p. 43-77.
- 5) 川村喜一郎・池原研・金松敏也・藤岡換太郎, "パレスベラ海盆から採取されたタービダイトの帯磁率異方性による古流向解析", 地質学雑誌, 108, 207-218 (2002).
- 6) Honza, E., Arita, M., Inouchi, Y. and Onodera, K., "Cored material. In Ryukyu Island (Nansei Shoto) Arc GH75-1 and GH75-5 cruises January - February and July - August 1975", E., Honza, Ed., *Cruise Report No. 6*, (Geological Survey of Japan, Tokyo, 1976), 23-25.
- 7) Honza, E., Yuasa, M. and Onodera, K., "Cored material. In Ryukyu Island (Nansei Shoto) Arc GH75-1 and GH75-5 cruises January - February and July - August 1975", E., Honza, Ed., *Cruise Report No. 6*, (Geological Survey of Japan, Tokyo, 1976), 62-64.
- 8) Ye, Z., Z. M. and Pan, Z., "A preliminary study on the late Pleistocene-Holocene sediments from the Okinawa Trough off Donghai Sea (East China Sea)", *Marine Geology and Quaternary Geology*, 3 (2), 1-21 (1983). (Chinese with English abstract).
- 9) Tsugaru, R., Tamaki, Y., Sako, M., Kimura, M. and Shimamura, K. "Report on DELP 1988 cruise in the Okinawa Trough part 4. Preliminary report on the sediment samples", *Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo*, 66, 71-89 (1991).
- 10) Ujiié, H., Ono, T. and Ujiié, Y., "Catalogue of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ measured piston cores collected from the Ryukyu Arc region, during RN80 to RN96 cruise", *Bull. Coll. Sci., Univ. Ryukyus*, 63, 141-255 (1997).
- 11) 本多牧生・日下部正志・中林成人・田中武男, "沖縄トラフ海域におけるセジメントトラップ実験: 陸起源物質の挙動と沖縄トラフ海域の生物地球化学的特徴", 海洋科学技術センター試験研究報告, 36, 9-52 (1997).
- 12) 海上保安庁, 第6315号 1/100000海底地形図 南西諸島(海上保安庁, 1993)。
- 13) Sibuet, J.C., Deffontaines, B., Hsu, S.K., Thureau, N., Le Formal, J.P., Liu, C.S. and ACT Party, "Okinawa trough backarc basin: Early tectonic and magnetic evolution", *J. Geophys. Res.*, 103 (B12) 30245-30267 (1998).
- 14) 松本剛, 木下正高, 中村衛, Jean-Claude Sibuet, 李昭興, 許樹坤, 大森保, 新城竜一, 橋本結, 細谷慎一, 今村牧子, 伊藤誠, 佃薫, 八木秀憲, 館川恵子, 加賀谷一茶, 外窪周子, 岡田卓也, 木村政昭, "沖縄トラフ西端部における火山・熱水活動と中軸の「セグメント化」-「よこすか」・「しんかい6500」による"Lequios"航海成果速報-", *JAMSTEC深海研究*, 19, 95-107 (2001)。
- 15) 木村政昭, 琉球弧の成立と生物の渡来(沖縄タイムス社, 那覇, 2002) 206p.
- 16) Ujiié, H., Nakamura, T., Miyamoto, Y., Park, J.O., Hyun, S. and Oyakawa, T., "Holocene turbidite cores from the southern Ryukyu Trench slope: suggestions of periodic earthquakes", *Jour. Geol. Soc. Japan*, 103 (6), 590-603 (1997).
- 17) 吉川周作, 1976, "大阪層群の火山灰層について", 地質学雑誌, 82 (8), 497-515.

(原稿受理: 平成15年1月6日)