

北海道イドンナップ帯付加体中のオフィオライトからみた 残存島弧の地殻構成と層序

フィリピン海残存島弧との比較

植田 勇人* 宮下 純夫*

Crustal Lithology and Stratigraphy of Remnant Arcs Induced from Ophiolitic Rocks in the Idonnappu Zone Accretionary Complex (Hokkaido, Japan) Comparison with Philippine Sea Remnant Arcs

Hayato UEDA * and Sumio MIYASHITA *

Abstract

The mid-Cretaceous Oku-Niikappu Dam accretionary complex (ONDC) in the Idonnappu Zone of Hokkaido contains volcanic, plutonic, and ultramafic rocks with island-arc chemical features. The volcanic rocks are overlain by radiolarian chert. This stratigraphic succession represents an ancient island arc, in which activity ceased within a pelagic environment prior to accretion to the continental margin. The ophiolitic rocks of the ONDC, which may have comprised upper mantle, arc crust, and cover sediments, are thus regarded as accreted fragments of an intraoceanic remnant arc. Basaltic to andesitic volcanics, gabbroic to tonalitic plutonics, and serpentinite are constituents common to the ONDC remnant arc and equivalent settings in the modern Philippine Sea. They also have a common cover sedimentary sequence, from volcanic basement through volcanoclastic debrites to pelagic sediments. This sequence may record the history from arc activity through back-arc rifting to intraoceanic isolation. Clasts of serpentinite, plutonic, and metamorphic rocks in the volcanoclastic debrites in the ONDC and those from the Daito Ridge in the Philippine Sea imply extensional exhumation of lower crustal and upper mantle rocks during back-arc rifting.

Key words : remnant arc , ophiolite , back arc rifting , conglomerate , crust

キーワード : 残存島弧 , オフィオライト , 背弧拡大 , 礫岩 , 地殻

* 新潟大学理学部地質科学教室

* Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University

I. はじめに

現世の西太平洋には、背弧海盆の拡大により活動を停止した古い島弧が多く分布し(図1A)、残存島弧(remnant arc: Karig, 1972)あるいは古島弧と呼ばれている。残存島弧では島弧形成早期の火成岩が後の火成活動の重複を免れて残されることから、大陸地殻生成初期における地殻構造やマントル、マグマの進化を知るうえで注目されている(Hawkins and Castillo, 1998; 小原ほか, 1999; 原口・石井, 1999など)。残存島弧の多くは海面下にあり厚い堆積物に覆われているため、DSDPやODPの掘削孔は基盤に達していないか、火山岩層上部にとどまっている。このため残存島弧の地殻深部を構成している岩石についてはドレッジ等による断片的な情報と地震波速度構造に基づき類推されている状況にある(篠原ほか, 1999)。

一方、過去の海洋プレートを構成する岩石は、オフィオライトや付加体中の緑色岩類として陸上で観察される。しかし、これまで陸域からは、過去の海洋性残存島弧と認定された地質体は報告されていなかった。最近、植田・宮下(2002)は、北海道イドンナップ帯の奥新冠ダムコンプレックスに産するオフィオライトが残存島弧起源であると推定した。これらは付加体形成時やその後の構造運動によって分断、擾乱を受けているものの、上部マントルから表層の遠洋性堆積物までの各種岩石で構成され、部分的に初生層序も残されている。このため、奥新冠ダムコンプレックスは残存島弧の地殻構成や層序を知る上で参照地質体のひとつになると考えられる。本稿では、奥新冠ダムコンプレックスのオフィオライトが残存島弧の特徴を示すことを紹介し、現世のフィリピン海残存島弧との比較を通じて、残存島弧の地殻構成および形成過程について考察する。

II. 地質概略

日高山脈西翼のイドンナップ帯(図1B)に分布する白亜紀付加体は、海洋プレートの西向き沈み込みに伴ってユーラシア大陸東縁(古東北日本弧)

に形成されたと考えられている(Kiyokawa, 1992; Ueda *et al.*, 2001など)。イドンナップ帯には前期白亜紀付加体、後期白亜紀付加体、および蛇紋岩(日高西縁蛇紋岩帯:新井田・加藤, 1978)が分布する。

日高西縁蛇紋岩帯は、ほとんどの地域では幅100 m以下であり、蛇紋岩メランジによって占められる。しかし、本稿で扱う新冠川上流域では多様な岩相が幅約2 kmと比較的広い分布を示す。このため、これらの岩体を総称して奥新冠ダムコンプレックスと呼ぶことにする(図2)。当地域の奥新冠ダムコンプレックスは、超苦鉄質岩相、ガブロ輝緑岩相、緑色岩チャート相、およびタービダイト相の4つの岩相グループ(単に“相”、“facies”と表記)から構成され、それぞれが北北西-南南東走向に連続した板状岩体(スラブ)や断層ブロックとして産する。スラブ同士の境界はすべて断層であり、多くの場合剪断された超苦鉄質岩相を挟んでいる。

III. 奥新冠ダムコンプレックスの構成

1) 緑色岩チャート相

本岩相は幅約700 mのスラブ岩体として産し、スラブ内部で北北東-西南西方向に軸をもつ向斜をなす。本相は下部、中部および上部の3つに細分される。下部は玄武岩~安山岩質の溶岩とハイアロクラスタイトから構成され、しばしば発泡痕を伴う。中部は火山砕屑性の礫岩および砂岩を主体とし、放散虫チャートや暗褐色放散虫岩を挟み込む。新冠川右岸支流では下位の溶岩およびハイアロクラスタイトから火山砕屑性礫岩に整合漸移の様子が観察される。礫岩は細礫~巨礫からなる重力流堆積物であり、単層厚が10 mを越えるものも見られる。礫種は玄武岩質~流紋岩質の火山岩が主体で、蛇紋岩、単斜輝岩、ガブロ~角閃岩、閃緑岩~トーナル岩、石灰岩も見られる。一部で径数メートルに達する溶岩のブロックや、同時礫と思われるチャートの不定形礫~ブロックが含まれる。礫岩と互層する放散虫岩やチャートの同時礫からは *Eucyrtidiellum cf. ptyctum*, *Pseudodicytomitra carpatica*, *Thanarla pulchra*, *Miri-*

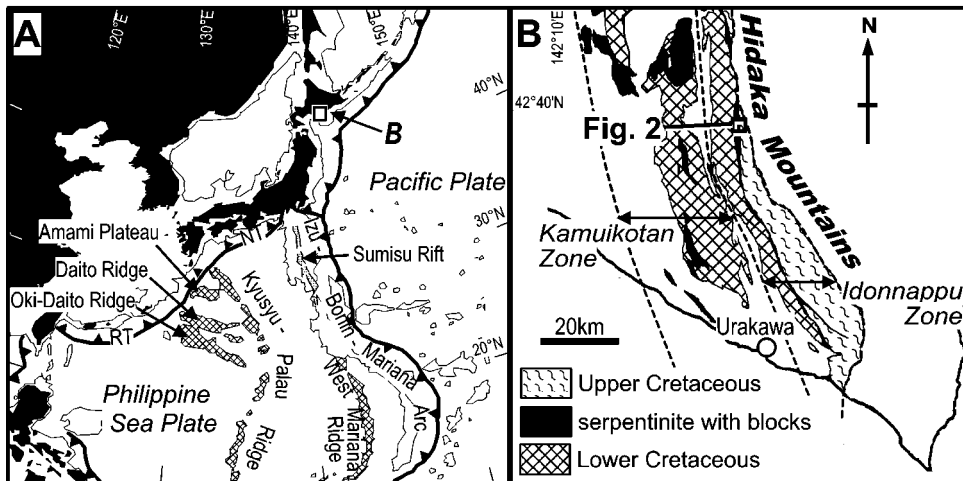


図 1 A) フィリピン海プレートにおける残存島弧の分布 .
 B) 日高山脈周辺における白亜紀付加体の分布 .

Fig. 1 A) Remnant arcs in the Philippine Sea Plate.
 B) Distribution of Cretaceous accretionary complexes in the Hidaka Mountain area.

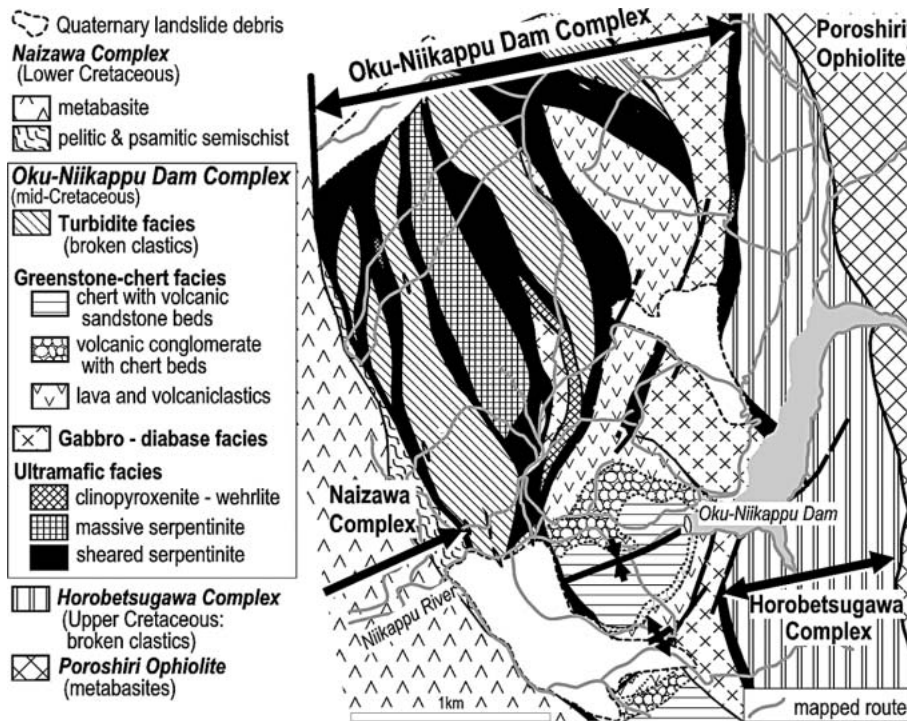


図 2 新冠川上流域における奥新冠ダムコンプレックスの地質図 .

Fig. 2 Geologic map of the Oku-Niikappu Dam Complex in the upper course of the Niikappu River.

fusus mediodilatatus などの放散虫化石を産することから、Matsuoka (1995) の KR1 帯に対比され、ジュラ紀末～白亜紀初頭に堆積したと考えられる。

上部は赤色～白色の放散虫チャートを主体とし、火山砕屑性の砂岩や細礫岩を挟在する。中部とは漸移関係にあり、上位ほど礫岩および砂岩の頻度が減少しチャートが卓越する。砂岩や細礫岩の多くは層厚 1 m 以下でしばしば級化を示す。チャートの放散虫化石からは中部との有意な年代差は認められない。

2) ガプロ 輝緑岩相

本相は幅 400 m に達するスラブ岩体や、剪断された蛇紋岩に伴うブロックとして産する。主として細粒なガプロと同質の半深成岩から構成され、石英閃緑岩～トータル岩質の深成岩や半深成岩を伴う。これらの多くは原岩の組織を残したまま緑色片岩相～角閃岩相の変成作用を受けている。また蛇紋岩中には片状角閃岩のブロックも認められる。細粒な岩石ではガプロや同質集積岩、トータル岩の捕獲岩が認められることがある。奥新冠ダム林道沿いでは、上記の深成岩および半深成岩がシート状脈群を構成している(Ueda and Miyashita, 2003) が、他ルートでは貫入境界が不明瞭なことが多く塊状の深成岩体を構成していると思われる。また蛇紋岩中には集積組織の顕著なガプロノーライトの小岩体も見られた。

3) 超苦鉄質岩相

本相は葉片状蛇紋岩、塊状蛇紋岩、および超苦鉄質集積岩に細分され、いずれもかんらん石、斜方輝石は完全に蛇紋石化を被っている。葉片状蛇紋岩はハルツパーガイトを原岩とする。多くの剪断面を有し、超苦鉄質集積岩、ガプロ、角閃岩、ロジン岩などのブロックを含んでいる。塊状蛇紋岩はほぼ非変形でスラブ岩体として産する。原岩はハルツパーガイトおよびレルゾライトであり、単斜輝石の多少による層状構造が見られる場合がある。超苦鉄質集積岩は幅数十メートル以下の小規模なスラブやブロックとして、葉片状蛇紋岩中に含まれる。明瞭な集積組織をもった単斜輝岩～ウェーライトで構成される。

4) タービダイト相

本相は最大幅約 500 m、最大延長 2 km を越えるスラブとして産する。破断変形した砂泥互層で構成され、一部で小規模なチャートや緑色岩のブロックを含む。転石では石灰岩も認められる。砂岩はおもに石英、斜長石、カリ長石片と花崗岩片および中～酸性火山岩片から構成され、泥岩、チャート、珪質片岩、ジルコン、ざくろ石、褐れん石などの砕屑粒子が含まれている。これらタービダイト相中の砂岩は、ほとんど火山岩片から構成され、石英やカリ長石片を含まない緑色岩チャート相中の火山砕屑性砂岩および礫岩とは明瞭に区別される。タービダイト相中に挟まれる珪質泥岩からは、Kiyokawa (1992) によって白亜紀中期 (Albian-Cenomanian) の放散虫化石が報告されている。

IV . 火成岩岩石学的性質

緑色岩 チャート相下部の溶岩およびハイアロクラスタイト、ガプロ 輝緑岩相、超苦鉄質岩相中のかんらん石単斜輝岩などの火成岩体には、しばしば単斜輝石が残存するほか、まれにスピネルが含まれる。また緑色岩 チャート相中～上部の火山砕屑性の砂岩および礫岩では、単斜輝石やスピネルは火山岩・深成岩礫中に含まれるほか鉍物片としても見られる。

単斜輝石は砕屑物中のものと各種火成岩体中のもの重複した組成範囲を示す(図 3)。これらは砕屑物、火成岩体ともに Ti に乏しい島弧的な特徴を示す。スピネルは Cr に富み Ti に乏しい組成を示し(図 4)、とくに島弧に特徴的な高い Cr/(Cr+Al) 比 (> 0.7) をもつものが多く見られる。

図 5 には角閃岩化したガプロ(火成岩体)と単斜輝石玄武岩礫(砕屑物)について、MORB で規格化した全岩微量元素組成を示した。ガプロでは Y～Nb 間の HFS 元素が全体に乏しく、Pearce (1982) で示された島弧ソレイアイトの特徴をもつ。玄武岩礫は Nb, Ti に乏しく P や Zr に比較的富む特徴を示すため、カルクアルカリ玄武岩由来とみられる。

緑色岩 チャート相の細礫岩研磨薄片について、

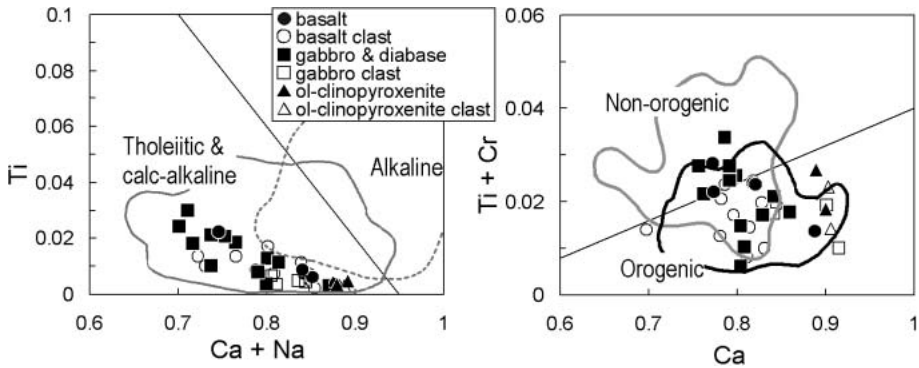


図 3 火成岩体および火成岩礫に含まれる単斜輝石の組成。
組成領域は Letterier *et al.* (1982) による。

Fig. 3 Compositions of clinopyroxenes in igneous bodies and clasts of igneous rocks.
Discriminant fields after Letterier *et al.* (1982).

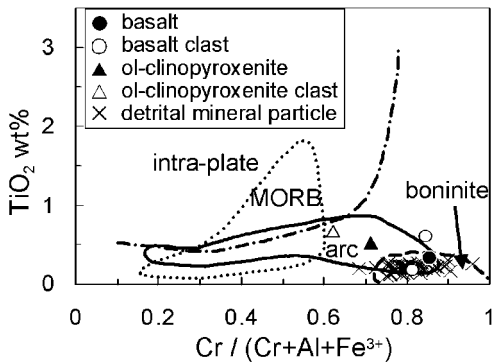


図 4 火成岩体および火山性碎屑岩に含まれるスピネルの組成。
各種岩石の組成領域は Arai (1992) による。

Fig. 4 Compositions of spinels in igneous bodies and volcanic clastic rocks.
Discriminant fields after Arai (1992).

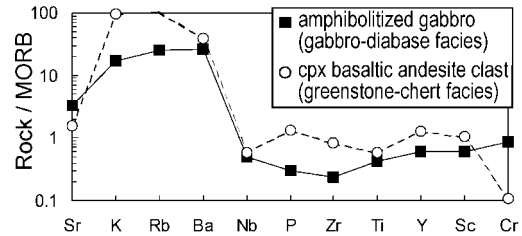


図 5 角閃岩化したガブロ（ガブロ 輝緑岩相）と玄武岩質安山岩礫（緑色岩 チャート）における、MORB で規格化された微量元素存在度パターン。
MORB の値は Sun and McDonough (1989) による。

Fig. 5 MORB-normalized trace element patterns of amphibolitized gabbro (gabbro-diabase facies) and basaltic andesite clast (greenstone-chert facies).
MORB normalizer after Sun and McDonough (1989).

EDS 面分析によって火山岩片ごとの全岩主成分元素組成を見積った（図 6）。細粒石基をもつ火山岩片の微小領域（約 1.5 10 mm²）内を電子線で走査した状態で定量分析をおこなうことにより、分析値を得た。火山岩片は玄武岩から流紋岩までの幅広い組成を示し、MgO/FeO 比に対して全体に高い SiO₂ 量と低い TiO₂ 量が注目される。多くは MgO/FeO 比の増加に伴って SiO₂ が増加し、FeO

が減少するカルクアルカリ系列のトレンドを示す一方、やや TiO₂ や FeO に富み SiO₂ に乏しい島弧ソレイアイトの特徴をもった火山岩礫も見られる。

以上のように、奥新冠ダムコンプレックス中に見られる超苦鉄質から珪長質におよぶ多様な火成岩類は、島弧火成岩の特徴を示す。また、これら火成岩体と共通する全岩・鉱物化学組成をもった碎屑物が、チャートと互層する火山性碎屑岩に含

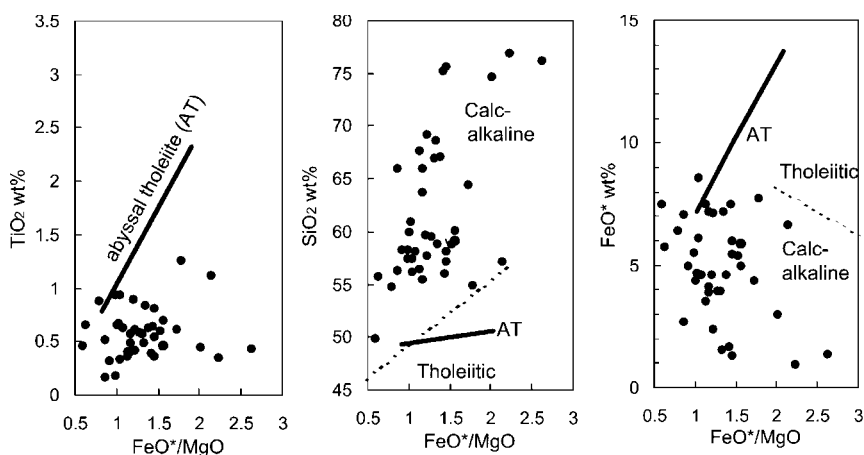


図 6 緑色岩 チャート相の細礫岩についての EDS 面分析による碎屑粒子ごとの主成分全岩組成。深海底玄武岩のトレンドとソレイアイト / カルクアルカリ系列の境界は Miyashiro (1974) による。

Fig. 6 Grain-by-grain bulk-rock compositions obtained by EDS scanning analysis for volcanic clasts in granule conglomerate of the greenstone-chert facies. Abyssal tholeiite trends and tholeiitic/calc-alkali boundaries after Miyashiro (1974).

まれることが注目される。

V. 初生層序の復元

これまでに述べたように、緑色岩 チャート相中の火山碎屑性礫岩・砂岩の碎屑物組成は、周囲に露出する各種火成岩体の岩相と共通している。このことから、超苦鉄質岩相、ガブロ 輝緑岩相、および緑色岩 チャート相下部は、チャート堆積時に海底に露出していたと推定される。また、碎屑物、溶岩、ガブロ 輝緑岩および超苦鉄質岩の各種岩相を通じて、単斜輝石やスピネルの組成が共通した島弧火成岩の特徴を示す。したがって、上記の岩相グループは元来同一の島弧地殻および上部マントルを構成していた可能性が高い。

以上に基づいて模式的に復元した奥新冠ダムコンプレックスの初生層序を図 7 に示す。緑色岩チャート相のうち、下部の火山岩およびハイアロクラスタイトは島弧地殻上部と考えられる。中部の礫岩・チャート互層部は、島弧由来の厚層理礫質重力流堆積物を主体とし、向斜の北翼と南翼で

厚さが異なることから、もとは楔形の堆積体であったと考えられる。このような岩相は、島弧の開析に伴って急崖ないし急斜面下にエプロン状に堆積した可能性が高い。礫岩の層間にチャートや放散虫岩が頻繁に挟まれ凝灰岩を伴わないことから、礫岩・チャート互層部は、島弧が活動を停止した後に遠洋性環境で堆積した被覆層と考えられる。上部のチャートは、島弧の侵食および再堆積が不活発化した後の、遠洋性被覆層と捉えられる。緑色片岩相～角閃岩相の変成作用を被っているガブロ 輝緑岩相は、島弧地殻の比較的深部と考えられる。このうちシート状岩脈群は元来火山岩（緑色岩 チャート相下部）の下位にあったと考えられ、その他の塊状の深成岩、角閃岩や苦鉄質集積岩はさらに深部を構成していたと推定される。超苦鉄質岩相は島弧下のマントル物質と捉えられよう。被覆層の放散虫年代から、この“奥新冠残存島弧”はジュラ紀末～白亜紀初頭以前（おそらく後期ジュラ紀）に形成されたと推定される。

なお、現在の奥新冠ダムコンプレックスは断層

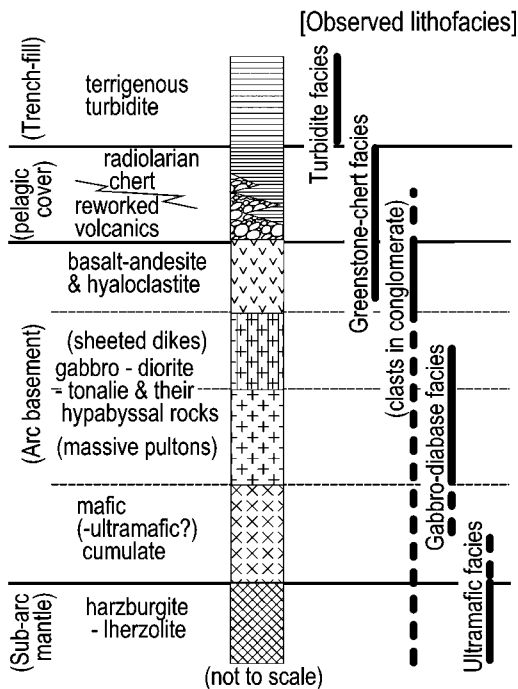


図 7 奥新冠ダムコンプレックスにおける初生層序の復元。

Fig. 7 Reconstructed crustal stratigraphy of the Oku-Niikappu Dam Complex.

により複雑に断片化しているため、被覆層以外の岩相についての元来の層厚や、島弧地殻の厚さは不明である。

VI. 奥新冠ダムコンプレックスの起源

奥新冠ダムコンプレックスの構成岩相のうち、中部白亜系のタービダイト相は、チャートより若い年代を示すこと、全体に破断変形を被っていること、そして砂岩に石英、カリ長石、ジルコン、ざくろ石など花崗岩（～変成岩）起源と考えられる碎屑粒子が多く含まれることから、イドンナップ帯の他のユニットと同様に陸弧縁辺の海溝充填堆積物と捉えられる。このため、付加体形成年代は白亜紀中期頃と推定される。一方、島弧火山岩は、火山碎屑性礫岩を介してチャートに整合関係で覆われる。チャートは、石英など大陸縁辺由来と考えられる粗粒碎屑粒子を含まず、凝灰岩も挟

在しない。したがってこの層序は、大陸縁辺から離れた遠洋域において島弧が活動を停止し、珪質生物源堆積物（チャート）に覆われたことを示すと解釈される。島弧の活動停止時期の上限はチャートの年代から白亜紀初頭と見積られる。したがって、奥新冠ダムコンプレックスの火成岩体は、遠洋域で活動を停止した古い島弧、すなわち海洋性残存島弧であったと推定され、白亜紀中期にユーラシア大陸縁辺に付加したと考えられる。

従来、奥新冠ダムコンプレックスの超苦鉄質岩類は、東北日本弧下のマントル物質が上昇した固体併入岩体と考えられてきた（新井田・加藤，1978）。しかし前章で復元したように、超苦鉄質岩相は、ジュラ紀の海洋性残存島弧下のマントルを構成していたと考えられることから、ガプロ-輝緑岩相や緑色岩 チャート相の岩石とともに海洋プレート側から付加した可能性が高い。

VII. フィリピン海残存島弧との比較

1) 構成岩石

フィリピン海には奄美海台、大東海嶺、沖大東海嶺、九州 パラオ海嶺、および西マリアナ海嶺の5つの残存島弧が知られている。これらフィリピン海の残存島弧から報告されている各種岩石を表1に示す。いずれの残存島弧でも、被覆層の下位からは玄武岩～安山岩質の火山岩が採取されている。奄美海台、大東海嶺、および九州 パラオ海嶺からは、苦鉄質～珪長質の半深成岩～深成岩も報告されている。また大東海嶺からは蛇紋岩や角閃岩相に達する変成岩が報告されており、音響基盤を覆う始新世の礫岩中からも深成岩や変成岩礫が産する。

“奥新冠残存島弧”は超苦鉄質岩、深成岩～半深成岩、玄武岩～安山岩質火山岩、火山碎屑性砂礫岩、および遠洋性堆積物であるチャートで構成され、深成岩の多くは緑色片岩相から角閃岩相の変成作用を受けている。これらの岩相構成はフィリピン海上の残存島弧から報告された岩石と共通点が多く、とくに蛇紋岩や変成岩を伴う点で大東海嶺のそれとよく類似している。

表 1 フィリピン海プレート上の残存島弧および奥新冠ダムコンプレックスで得られている岩石 .

Table 1 List of rock species occurring in the remnant arcs of the Philippine Sea Plate and the Oku-Niikappu Dam Complex.

	Amami Plateau	Daito Ridge	Oki-Daito Ridge	Kyushu-Palau Ridge	West Mariana Ridge	Oku-Niikappu Dam Cmplx
Volcanic Rocks	basalt andesite trachyandesite	basalt alkali basalt andesite pumice, ?dacite	basalt andesite pumice	basalt alkali basalt andesite [pumice]	basalt [andesite] dacite [pumice]	basalt andesite [dacite] [rhyolite]
Plutonic and hypabyssal rocks	gabbro granodiorite tonalite trondjemite	serpentinite gabbro dolerite diorite granodiorite	dolerite	dolerite [diorite] qz-diorite tonalite granodiorite trondjemite porphyrite plagiogranite		serpentinite wehrlite clinopyroxenite gabbro dolerite gabbronorite diorite qz-diorite tonalite
metamorphic rocks		ultramafic schist mafic schist meta-felsite black schist				amphibolite matagabbro metadolerite epidotized rocks rodingite
sedimentary rocks	foraminifera limestone	tuff, tuff breccia conglomerate sandstone mudstone limestone calc calc. ooze chert radiolarite	tuff tuff breccia sandstone mudstone limestone phosphate rock	tuff tuff breccia conglomerate sandstone mudstone limestone chalk calc. ooze & clay phosphate rock	tuff tuff breccia conglomerate sandstone limestone calcareous ooze	tuff tuff breccia conglomerate sandstone brown radiolarite radiolarian chert [limestone]
references	9,10,11	3, 5, 6, 9, 10	9, 10	2, 7, 9, 10	1, 8	this study

References 1 : Karig and Glassley (1970), 2 : Ingle *et al.*(1975), 3 : Yuasa and Watanabe(1977), 4 : de Vries Klein *et al.*(1980), 5 : Mills(1980), 6 : Tokuyama *et al.*(1980), 7 : Kroenke *et al.*(1981b), 8 : Kroenke *et al.*(1981a), 9 : Aoki and Ishikawa(1985), 10 : Shiki *et al.*(1985), 11 : Tokuyama(1985).

[] : Occurred only in clasts.

2) 地殻層序

篠原ほか(1999)は、地震波速度断面から九州パラオ海嶺の地殻構造を推定している。同海嶺の地殻の厚さは、被覆層も含めて約 13 km と見積もられている。火山岩質の上部地殻 (4.3 ~ 5.5 km/sec 厚さ約 2 km) と下部地殻 (7.1 ~ 7.2 km/sec , 約 5 km) との間には 6.1 ~ 6.3 km/sec 層 (最大厚約 5 km) があり、花崗岩質の中部地殻と推定されている。

海洋性残存島弧の地殻構造を推定するにあたって、現世海洋域における速度構造、ドレッジ試料、およびボーリングデータのほかに、過去の残存島弧起源と考えられる陸域の地質体からの情報も参考になると思われる。奥新冠ダムコンプレックスで復元される地殻構成および層序 (図 7) と上記の九州パラオ海嶺における地震波速度構造を比較すると、残存島弧の上部地殻上半は玄武岩 ~ 安山岩 (~ 流紋岩) 質の火山岩類で構成されると考

えられ、上部地殻下半～中部地殻最上部にはシート状岩脈群が存在する可能性がある。中部地殻はガブロ、閃緑岩、トータル岩等の深成岩で構成されると考えられる。下部地殻はおもに苦鉄質集積岩と推定されるが、単斜輝岩などの超苦鉄質集積岩も存在する可能性がある。

奥新冠ダムコンプレックスの構成岩石のなかでとくに注目されるのは、シート状岩脈群の存在である。一般にシート状岩脈群は展張性拡大に伴う火成活動の産物と考えられるので、残存島弧においては背弧拡大を強く示唆する。現世海洋域の残存島弧ではシート状岩脈群の存在は報告されていないが、火山岩層の下位に伏在している可能性がある。

3) 被覆層の層序

大東海嶺 (DSDP 445: de Vries Klein *et al.*, 1980)、九州パラオ海嶺 (DSDP 296: Ingle *et al.*, 1975; DSDP 448: Kroenke *et al.*, 1981b)、および西マリアナ海嶺 (DSDP 451: Kroenke *et al.*, 1981a) では深海掘削によって基盤の火山岩あるいはその直上までの層序が明らかになっている (図8)。これらの残存島弧ではいずれも、基盤の上に凝灰岩、火山角礫岩、火山碎屑性の砂岩や礫岩が堆積し、遠洋性の石灰質軟泥～チョークに覆われる層序が報告されている。これらのうち海嶺頂部や上部斜面で掘削された296、448および451孔では、火山岩基盤を覆う火山性碎屑岩は、浅海棲動物化石を含む凝灰岩、火山角礫岩、および火山碎屑性礫岩で構成され、浅海域から供給された再堆積層とされている (Rodolfo, 1981)。一方、大東海嶺の445孔は落差2000m近い急斜面に囲われた地溝状凹地内に位置し、音響基盤の約50m上位までの掘削がなされている。ここでは火山岩碎屑性の礫岩および砂岩からなるタービダイトや土石流堆積物が、遠洋性の石灰質泥岩や石灰岩と互層をなしている。礫岩はより多源的であり、玄武岩および安山岩片のほかに、ドレライト、ガブロ、角閃石片岩、白亜紀石灰岩などの礫が報告されている (Tokuyama *et al.*, 1980; Mills, 1980)。

図8に奥新冠ダムコンプレックスの緑色岩チャート相の柱状図も示した。本地域ではチョー

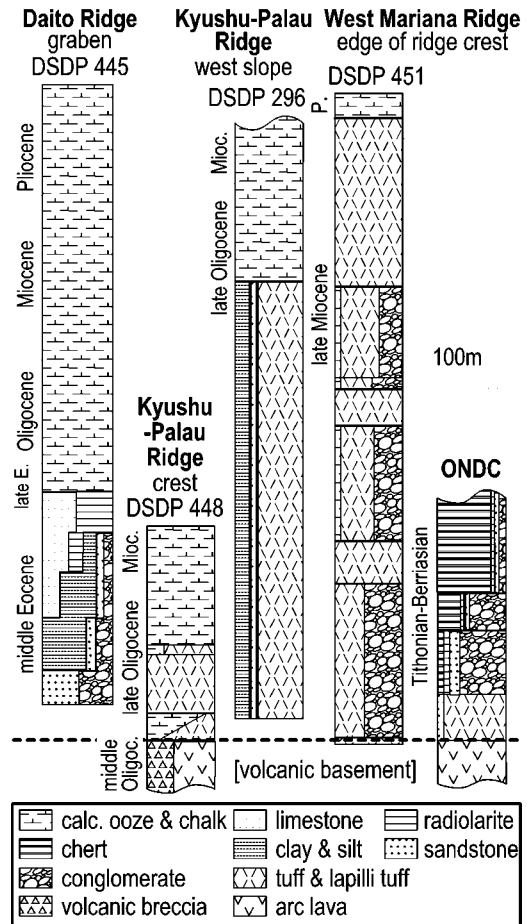


図8 フィリピン海プレート上の残存島弧と奥新冠ダムコンプレックスでの被覆層の比較。

Fig. 8 Stratigraphic comparison of cover strata between the remnant arcs of the Philippine Sea Plate and that of the Oku-Niikappu Dam Complex.

クや石灰岩の代りに放散虫岩や放散虫チャートが産するが、これはフィリピン海の残存島弧とは異なり、CCDより深かった場の堆積物が露出しているためであろう。しかしフィリピン海の残存島弧と同様に火山岩を火山碎屑性の重力流堆積物が覆い、さらに遠洋性堆積物が覆う層序を有している。

残存島弧に見られるこのような層序は、島弧の形成から活動停止、開析を経て遠洋域での孤立に至る過程を示すと考えられる。火山性碎屑岩はい

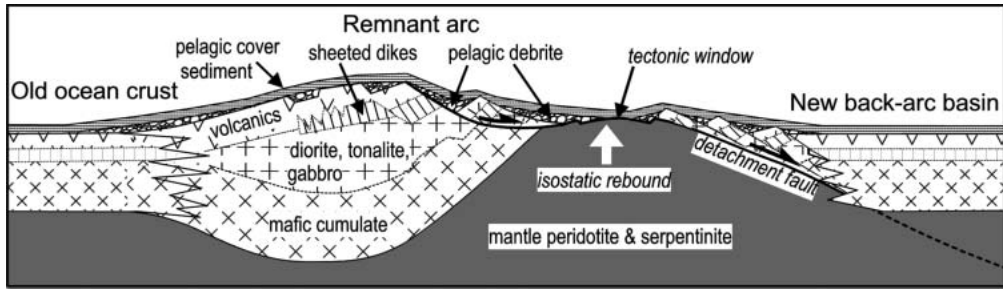


図 9 残存島弧における深部岩石の上昇モデル。

Fig. 9 Exhumation model of lower crust to upper mantle rocks on remnant arcs.

ずれの地域においても火山岩直上にあり、溶岩の噴出から数 m.y. 以内の短期間のうちに堆積している。また九州パラオ海嶺の 448 孔では、溶岩噴出から遠洋性堆積物が卓越するまでの間に、火山岩層が 20 ~ 45 度傾動していることが報告されている (Kroenke *et al.*, 1981b)。これらのことから、火山碎屑性の重力流堆積物は、背弧拡大初期の構造運動に関連した堆積物であることがうかがえる。

伊豆小笠原弧において第四紀に背弧拡大を開始したスミスリフトでは、正断層に規制された堆積盆に近隣の火山から火山性碎屑物がタービダイトや海底土石流として供給されているほか、断層崖の袂にエプロン状の堆積体が形成されている (Klaus *et al.*, 1992)。同様に、残存島弧の基盤を覆う火山性碎屑岩の多くは、背弧リフティングに伴って近隣の火山体から供給された二次堆積物と考えられる。

4) 超苦鉄質岩，変成岩，深成岩礫の由来

前節では、背弧リフティングに伴って火山碎屑性の二次堆積物が島弧基盤を覆う層序が、海洋性残存島弧に共通して見られることを述べた。しかし大東海嶺や奥新冠ダムコンプレックスのように、超苦鉄質岩や変成岩、苦鉄質～珪長質深成岩の礫を含む場合には、火山体からの供給のみでは説明困難である。残存島弧の深部を構成する深成岩や変成岩の一部は、背弧拡大時に何らかの要因で地表に露出し、侵食および再堆積を被っていたはずである。

一般に残存島弧は背弧拡大を経験している。し

たがって、深成岩礫や変成岩礫の供給源として現時点で最も考えやすいのは、伸長テクトニクスに伴って上昇・露出した島弧地殻深部～上部マンツルの岩石であろう。北米 Basin-and-Range 地域のような大陸内リフト (Lister and Davis, 1989) やマグマ供給量の少ない海洋底拡大域 (Tucholke *et al.*, 1998; Ohara *et al.*, 2001) で知られているように、地殻が大きく伸長する場では、低角正断層の運動による上載荷重の軽減を補償すべく、下部地殻～上部マンツルの岩石が上昇し地表に露出することが知られている。スミスリフトでは、陥没量とほぼ等しい分だけ下盤側 (リフト外縁) が隆起していることが報告されており (Klaus *et al.*, 1992)、背弧拡大初期においても同様のテクトニクスがはたしている可能性がある。したがって、大東海嶺や奥新冠ダムコンプレックスのように超苦鉄質岩、変成岩や深成岩の礫を伴う残存島弧では、背弧拡大時に、分裂する島弧下のマンツル～下部地殻物質が上昇し、海底のリフト崖や地窓などに露出した可能性が考えられる (図 9)。

VIII. ま と め

- (a) 北海道イドンナップ帯の白亜紀中期の付加体である奥新冠ダムコンプレックスは、島弧火成岩の特徴を示すオフィオライトと陸源碎屑岩で構成される。
- (b) オフィオライト中には、島弧火山岩をチャートが覆う層序が認められる。この層序から、本オフィオライトは、遠洋域で活動を停止した残

存島弧の断片と考えられる。

- (c) フィリピン海の残存島弧と奥新冠ダムコンプレックスのオフィオライトとの比較から、海洋性残存島弧は上位から順に、火山岩、シート状岩脈群、変成したガブロ～トータル岩質深成岩、苦鉄質および超苦鉄質集積岩、そしてかんらん岩と重なる地殻層序をもつと推定される。
- (d) フィリピン海残存島弧と奥新冠ダムコンプレックスに共通して、島弧火山岩を火山性砕屑岩、次いで遠洋性堆積物が覆う層序が見られる。火山性砕屑岩は背弧拡大時に島弧が開析されることにより堆積したと考えられる。
- (e) 火山性砕屑岩には深成岩、変成岩、および超苦鉄質岩の礫が含まれる場合がある。これら岩石の露出の原因として、背弧拡大時の地殻伸長に伴い深部岩石が上昇した可能性が考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、北海道電力株式会社静内電力所の方々に多くの便宜をはかっていただいた。北海道大学の中川光弘博士、産総研の工藤 崇博士には全岩分析に際して協力いただいた。新潟大学の長橋 徹博士にはスピネルを含む玄武岩礫試料を提供いただいた。島根大学のBarry P. Roser 博士には、英文要旨を校閲いただいた。匿名の査読者による指摘は、本論文を改善するうえで有益であった。ここに感謝の意を表わしたい。本研究の一部は平成 14, 15 年度文部科学省科学研究費補助金(特別研究員奨励費 03900)の助成を受けた。

文 献

- Aoki, H. and Ishikawa, M. (1985) On the igneous rocks dredged in the Dati Ridge Group and the Kyushu-Palau Ridge in the GDP cruises. In Shiki, T. ed.: *Geology of the Northern Philippine Sea*. Tokai Univ. Press, 23-41.
- Arai, S. (1992) Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineral Magazine*, **56**, 173-184.
- de Vries Klein, G., Kobayashi, K., White, S.M., Chamley, H., Curtis, D., Mizuno, A., Dick, H., Nisterenko, G.V., Marsh, N.G., Waples, D., Echols, D.J., Okada, H., Dloan, J.R., Fountain, D.M. and Kinoshita, H. (1980) Site 445: Daito Ridge, Deep Sea Drilling Project. *Init. Repts. DSDP*, **58**, 283-400.
- 原口 悟・石井輝秋 (1999) 九州パラオ海嶺北部、駒橋第二海山のトータル岩質深成岩類. 月刊地球, 号外, **23**, 116-122.
- Hawkins, J.H. and Castillo, P.R. (1998) Early history of the Izu-Bonin-Mariana arc system: Evidence from Belau and the Palau Trench. *The Island Arc*, **7**, 559-578.
- Ingle, J.C., Karig, D.E., Bouma, A.H., Ellis, H., Haile, N.S., Koizumi, I., MacGregor, I., Moore, J.C., Ujiie, H., Watanabe, T., White, S.M., Yasui, M. and Hsin, Y. (1975) Site 296. *Init. Repts. DSDP*, **31**, 191-206.
- Karig, D.E. (1972) Remnant arcs. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **83**, 1057-1068.
- Karig, D.E. and Glassley, W.E. (1970) Dacite and related sediment from the West Mariana Ridge, Philippine Sea. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **81**, 2143-2146.
- Kiyokawa, S. (1992) Geology of the Idonnappu Belt, Central Hokkaido, Japan: Evolution of a Cretaceous accretionary complex. *Tectonics*, **11**, 1180-1206.
- Klaus, A., Taylor, B., Moore, G.F., MacKay, M.E., Brown, G.R., Okamura, Y. and Murakami, F. (1992) Structural and stratigraphic evolution of the Sumisu Rift, Izu-Bonin Arc. *Proc. ODP, Sci. Results*, **126**, 555-573.
- Kroenke, L., Scott, R., Balshaw, C., Brassel, S., Chotin, P., Heiman, M.E., Ishii, T., Keating, B.H., Martini, E., Matthey, D.P., Rodolfo, K., Sartoni, R., Theyer, F., Usher, J.L. and Zakariadze, G. (1981a) Site 451: East edge of the West Mariana Ridge. *Init. Repts. DSDP*, **59**, 405-483.
- Kroenke, L., Scott, R., Brassel, S., Chotin, P., Heiman, M.E., Ishii, T., Keating, B.H., Martini, E., Matthey, D.P., Rodolfo, K., Sartoni, R., Theyer, F., Usher, J.L. and Zakariadze, G. (1981b) Site 448: Palau-Kyushu Ridge. *Init. Repts. DSDP*, **59**, 111-319.
- Leterrier, J., Maury, R., Thonon, P., Girard, D. and Marchal, M. (1982) Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**, 39-154.
- Lister, G.S. and Davis, G.A. (1989) The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region, U.S.A. *J. Struct. Geol.*, **11**, 65-94.
- Matsuoka, A. (1995) Jurassic and Lower Cretaceous radiolarian zonation in Japan and in the western Pacific. *The Island Arc*, **4**, 140-153.
- Mills, W. (1980) Analysis of conglomerates and associated sedimentary rocks of the Daito Ridge, Deep Sea Drilling Project Site 445. *Init. Repts. DSDP*, **58**, 643-657.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. J. Sci.*, **274**, 321-355.

- 新井田清信・加藤孝幸 (1978) 北海道中軸帯の超苦鉄質岩類. 地団研専報, **21**, 61-81.
- 小原泰彦・春日 茂・加藤幸弘・沖野郷子・平 朝彦・有馬 真・原口 悟・石井輝秋・桂 忠彦 (1999) 海洋性島弧における大陸地殻の形成: 九州パラオ海嶺掘削計画. 月刊地球, 号外, **23**, 133-140.
- Ohara, Y., Yoshida, T., Kato, Y. and Kasuga, S. (2001) Giant Megamullion in the Parece Vela Backarc Basin. *Marine Geophys. Res.*, **22**, 47-61.
- Pearce, J.A. (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In Thorpe R.S. ed.: *Andesites*. John Wiley & Sons, 525-548.
- Rodolfo, K.S. (1981) Sedimentologic summary: Clues to arc volcanism, arc sundering, and back-arc spreading in the sedimentary sequences of Deep Sea Drilling Project Leg 59. *Init. Repts. DSDP*, **59**, 621-623.
- Shiki, T., Mizuno, A. and Kobayashi, K. (1985) Data listing of the bottom materials dredged and cored from the Northern Philippine Sea. In Shiki, T. ed.: *Geology of the Northern Philippine Sea*. Tokai Univ. Press, 23-41.
- 篠原雅尚・高橋成実・李健亮・末広 潔・平 朝彦 (1999) 制御震源探査による北部伊豆小笠原弧・九州パラオ海嶺の地殻構造. 月刊地球, 号外, **23**, 67-78.
- Sun, S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In Saunders, A.D. and Norry, M.J. eds.: *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, 313-345.
- Tokuyama, H. (1985) Dredged igneous rocks from the Amami Plateau. In Shiki, T. ed.: *Geology of the Northern Philippine Sea*. Tokai Univ. Press, 50-56.
- Tokuyama, H., Yuasa, M. and Mizuno, A. (1980) Conglomerate and sandstone petrography, Deep Sea Drilling Project Site 445, Philippine Sea. *Init. Repts. DSDP*, **58**, 629-641.
- Tucholke, B.E., Lin, J. and Kleinrock, M.C. (1998) Megamullions and mullion structure defining oceanic metamorphic core complexes on the Mid-Atlantic Ridge. *J. Geophys. Res.*, **103**, B5, 9857-9866.
- 植田勇人・宮下純夫 (2002) 残存島弧オフィオライト: 北海道イドンナップ帯中の火成岩 礫岩 チャート複合体. 日本地質学会第 109 年学術大会講演要旨, 6.
- Ueda, H. and Miyashita, S. (2003) Discovery of sheeted dikes in the Cretaceous accretionary complex of the Idonnappu Zone, Hokkaido, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **109**, 559-562.
- Ueda, H., Kawamura, M. and Iwata, K. (2001) Tectonic evolution of Cretaceous accretionary complex in the Idonnappu Zone, Urakawa area, central Hokkaido, Northern Japan: With reference to radiolarian ages and thermal structure. *J. Geol. Soc. Japan*, **107**, 81-98.
- Yuasa, M. and Watanabe, T. (1977) Pre-Cenozoic metamorphic rocks from the Daito Ridge in the northern Philippine Sea. *J. Japan Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, **72**, 241-251.

(2003年5月9日受付, 2003年7月22日受理)