地学雑誌 **98-3** (1989)

ヤップ島の形成史とフィリピン海プレート南端部のテクトニクス―試論―

藤岡換太郎* 木村 学** 竹内 章**

Development of Yap Islands and Tectonics of the Philippine Sea Plate at Its Southern Tip

Kantaro FUJIOKA, Gaku KIMURA and Akira TAKEUCHI

Abstract

Yap Islands fringing southeastern margin of the Philippine Sea plate consist chiefly of metamorphic rocks which are not expected to exist on common oceanic islands. A model for the formation of such anomalous island arc is present by showing spontaneous down going slab at the paleo-Kyushu-Palau transform fault after change of the direction of the movement of the Pacific plate from NNW to WNW at 42Ma.

Amphibolites, amphibolite-cataclasites and debris flow deposits consisting mostly of amphibolite were formed during the process of the ocean floor metamorphism of the West Philippine Basin followed by the activity of the fault movements of the transform fault and finally uplifting of the paleo Yap terrain.

Island arc type volcanism took place after the deposition of channel fill sediments in the forearc area and ceased at about 10Ma by the collision of the Caroline Ridge with Yap Arc system.

I. はじめに

ヤップ島は，フィリピン海プレートの南東端を縁どるヤップ島弧―海溝系に属する島である。ヤップ島弧―海溝系は，伊豆・小笠原，マリアナと続く島弧―海溝系とパラオ弧島―海溝系を連鎖している。ヤップ島が変成岩類や超塩基性岩類から成ることは今世紀の初頭より知られていた。洋上の島の多くが火山島やサンゴ礁の島であることからみれば，ヤップ島は特異な島であるといえる。ヤップ島の陸上の層序と地史は田山(1935)によって初めて明らかにされた。ヤップ島の変成岩の原岩の化学組成や変成岩類のエンプレイスメントに関しては，いくつかの議論があった (SHIRAKI 1971, HAWKINS and BATIZA 1977)。一方，ヤップ島周辺の海域から超塩基性岩や変成岩類がドレッジによって得られたのは，1970年代のソ連やアメリカの一連の研究航海においてであった (BAGDANOV, *et al.* 1977, HAWKINS and BATIZA 1977)。HAMILTON (1977) は，インドネシア地域のテクトニクスのまとめの中で，ヤップ島の陸上と海域のテクトニクスについても触れている。

ヤップ島はフィリピン海の南東縁に位置し，西フィリピン海盆，パラセベラ海盆，カロリン海盆などと接し，フィリピン海プレートの南端部の構造発達史を考える上で重要である。また，ヤップ島の超塩基性

* 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo
** 香川大学教育学部 Department of Earth Sciences, Kagawa University
*** 富山大学教養部 Department of Geology, Toyama University

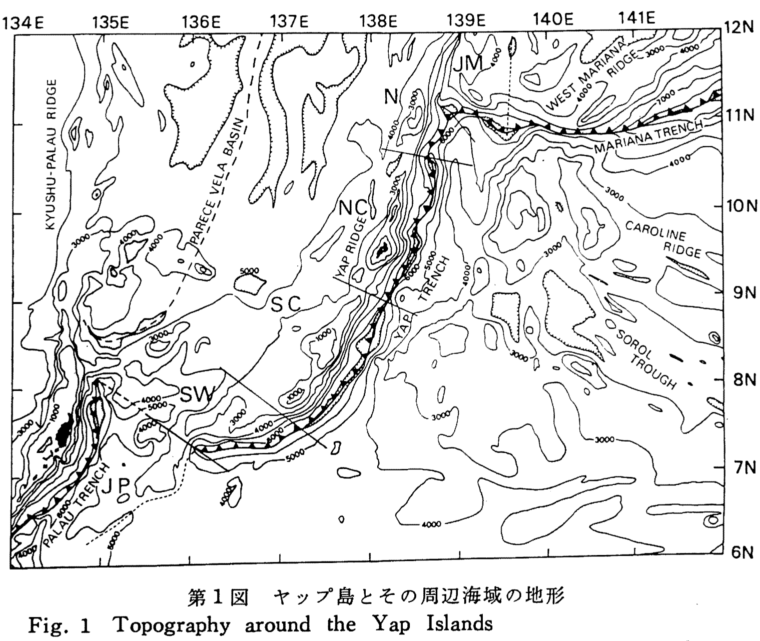
岩類や玄武岩類を一種のディスメンバードオフィオライトだと考えれば，そのエンプレイスメントのメカニズムはマリアナ海溝の前弧域に分布する前弧オフィオライトの成因と関連して重要である（前川ほか，本特集号）。また，フィリピン海で変成岩類を産するのは，台湾やフィリピンなどを別にすれば，このヤップ島と大東海嶺の DSDP Site 445 (TOKUYAMA *et al.* 1980, YUASA and WATANABE 1977) だけである。

このような地質学的背景に着目し，我々は1986年と1987年に，東京大学海洋研究所の研究船白鳳丸を用いてヤップ島周辺の海域で２回の研究航海を持った（KH86-1, KH87-３)。この２回の航海でヤップ島弧—海溝系の海溝海側から背弧域にかけての概査が行なわれた。また２回の航海中にヤップ島の陸上部分についても簡単な地質調査を行なうことができた（FUJIOKA *et al.* 1986, FUJIOKA *et al.* 1988)。

小文ではこれら海陸両方の調査で得られた知見をもとにして，ヤップ島とその周辺海域の地質とフィリピン海南部の構造発達史についての試論を提唱する。

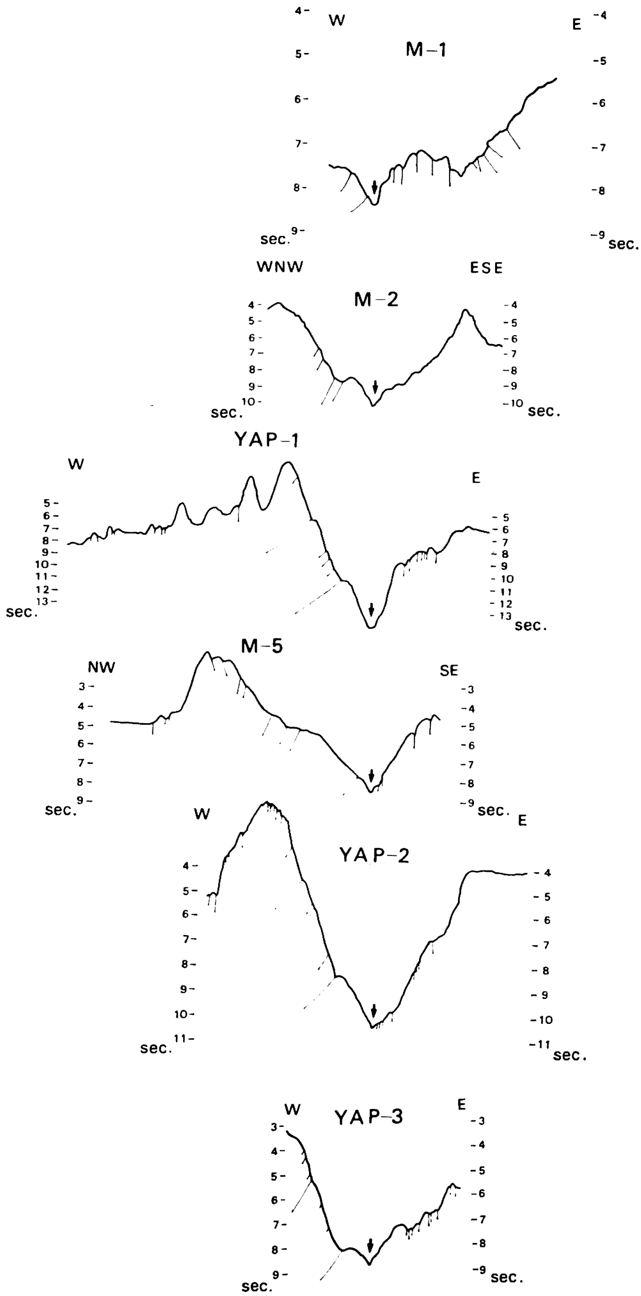
II. ヤップ島の地形と地質

ヤップ島は，ヤップ，ガギル，マップ，ルムングの４つの島からなる。島は海溝に平行に北東—南西方向に伸びている。ヤップ島はその最高峰が 173m の低平な島であり，４段の平坦面が認められる（田山 1935)。第１図にはヤップ島とその周辺の海域のおおまかな地形を示した。ヤップ島弧—海溝系は，その地形的な特徴から次の６つのドメインに区分できる（FUJIOKA *et al.* 1988)。それらは，マリアナ弧との会合域（JM)，北部域（N)，中北部域（NC)，中南部域（SC)，南西部域（SW）およびパラオ弧との会合域（JP）である（第１図参照)。NC と SC はヤップ島を含む中央域をしめ，陸上で前弧から背弧全体にかけての地形がみられる。第２図にはヤップ島弧—海溝系の横断地形を示した。ヤップ島弧—海溝系の前弧域には２つの大地形上の変換点が認められる。音波探査測線 YAP-１にはこれが典型的に見られ，顕著な



第１図　ヤップ島とその周辺海域の地形

Fig. 1　Topography around the Yap Islands
SM : Junction between Yap and Mariana arcs, N : North part, NC : North central part, SC : South central part, SW : Southwest part, JP : Junction between Palau and Yap arcs.



第２図　ヤップ島弧—海溝系の地形断面

Fig. 2　Topographic cross sections across Yap arc-trench system
As for the precise position of the cross section, see Fig. 4. Vertical scale is represented by seconds (1 second=750 m). Position of the trenches are shown by mark of the cold front. Contour of the water depth is drawn by every 500m.

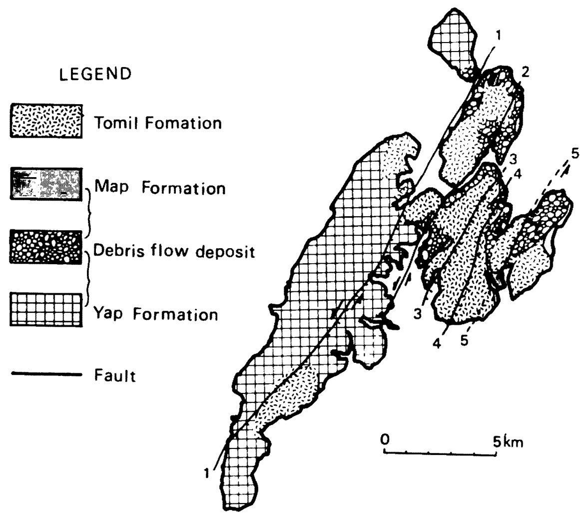
段地形を呈している。浅い方の段は水深約3800m，深い方のそれは水深約6000m のところにある。この地形変換点は多少の水深の違いや形の違いはあっても島弧に沿ったいくつかの断面で認められる。これは巨大な断層（逆断層）で，ヤップ弧の前弧域はこの断層によって３つの部分に大きくわかれる（地形区分，I，II，III）。背弧側の地形は何段かの凹凸は認められるが，全体として西側へとゆるく傾き水深 5000 m のパラセベラ海盆へと下がってゆく。地形の平均傾斜は前弧側の方が背弧側よりもかなり急であり，島弧全体が西側へゆるく傾動したような様相を呈している。

ヤップ島の地質は田山（1935, 1936）によって明らかにされた。第３図は田山の地質図をもとにして，それに新しい知見を加えて作った地質図である。田山（1935）は，ヤップ島の層序を下位よりヤップ層群，マップ層群，トミール集塊岩，ガリム石灰岩，段丘堆積層，汀渚堆積層，現成サンゴ礁に区分した。後４者は第四紀の堆積物と考えられている。

ヤップ島は角閃岩と緑色片岩を主とする。その後の調査により角閃岩類（斜長石と緑色ホルンブレンド）は，下位より，ほとんど変形を受けない角閃岩，カタクラサイト，土石流堆積物に区分できることがわかった。３者は漸移する。カタクラサイトは角閃岩がもとあった場所で変形を受けた粉砕岩である。その上位にくる土石流堆積物は，その下部ではほとんど角閃岩カタクラサイトそのものに起源がもとめられるが，上位に行く

と様々な異質岩片を含むようになる。この異質岩片にはカコウ岩類も含まれる(伊東ほか 1971, 青木ほか 1976)。このカコウ岩類は，構成鉱物としてカリ長石をほとんど含まない（青木ほか 1976）点で一種の斜長石カコウ岩であると考えることが出来る。

マップ層は，ヤップ層を不整合におおうチャンネル充塡堆積物である。下部の砂岩は緑色ホルンブレンドの鉱物片や角閃岩の岩片を多く含む。この一連の堆積物中の砂岩からミオジプシナが発見されその年代は中期中新世とされている（田山 1935)。また，この砂岩の中には石灰岩がはさまれていて，その中からナンノプランクトンの化石が発見されている（FUJIOKA *et al.* 印刷中)。



第3図　ヤップ島の地質図
Fig. 3 Geological map of the Yap Islands
1 to 5 show the major faults.

トミール集塊岩は，マップ層を不整合におおう。赤褐色でボーキサイト，ラテライト化がひどいが，部分的に安山岩質の集塊岩の構造を残している。これは Al_2O_3 の多いカルクアルカリ岩系の岩石であると考えられる。

ガリム石灰岩は，現世サンゴ礁のラグーンの中に隆起した小さな島を形成して産する。田山（1935）は，これが琉球石灰岩と岩相が似ているためその年代は第四紀であることを指摘している。ガリム石灰岩の年代は ESR によると約50万年である（FUJIOKA *et al.* 印刷中)。

ヤップ島は島の延びの方向に平行な N30° E 方向の断層によっていくつかの帯状の部分に分けられている。これらの断層に沿って超塩基性岩が分布している。この断層はヤップ島のすぐ南の海域を横断するマルチチャンネル音波探査記録 M-5 でも確認されている。M-5 では第2図に示したような東落ちの正断層の様相を示している。ヤップ島の真ん中を通るヤップ断層は左ずれ成分を持つ正断層で，その西側に島の延びに平行に複背斜が走りヤップ島の最高峰を形成している。

III. ヤップ島周辺海域の地質

ヤップ島周辺海域の調査は，KH86-1, KH87-3, および KH84-1 の航海でその一部がなされた。調査の項目は地質学・地球物理学的な内容で，以下のとおりである。

①PDR, 3.5KC による地形と表層堆積物の解析
②グラブ，ピストンコアによる表層堆積物の採集
③ドレッジによる露岩の採集
④深海カメラによる海底露頭の観察
⑤地殻熱流量の測定
⑥重力，地磁気の測定
⑦音波探査による地質構造の解析
⑧海底地震計による地下構造の決定

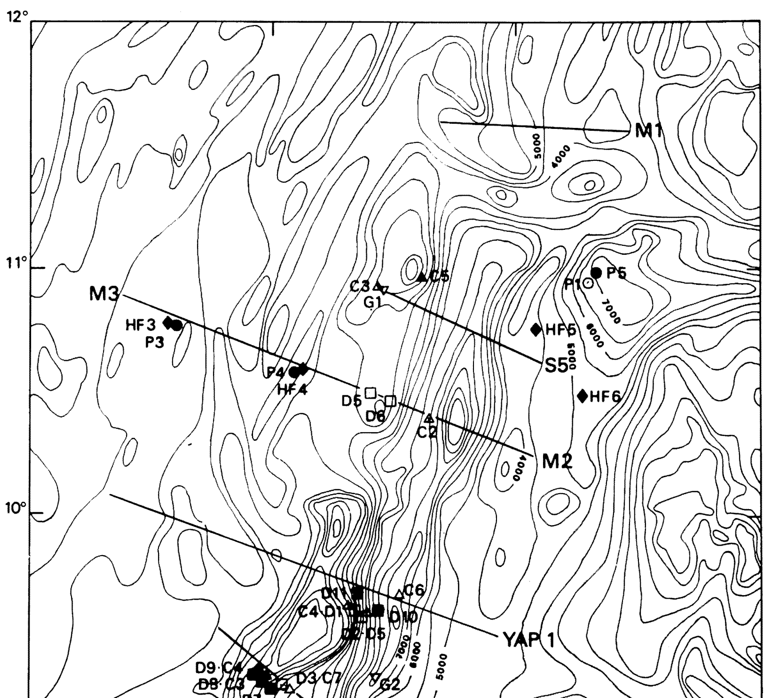
これらの結果は航海報告に詳しい（KOBAYASHI 1985, 1988 ; TOMODA 1986)。

前弧域のドレッジでは，角閃岩や片麻岩，変成玄武岩の他に陸上には認められない大理石の産出があった。また，石灰岩類がヤップ島から南へと続く地形的な高まりの南の延長部から沢山得られている。これらのことから，ヤップ層相当層が前弧域には広く露出していること，やや古いガリム石灰岩に相当するような石灰岩類がヤップ島の南の延長部に分布することがわかっている。

ヤップ島周辺で行なわれたドレッジは全部で11点あり，その位置を第4図に示した。得られた岩石種は地形と大いに相関があり，水深の浅い部分では緑色片岩，角閃岩を主体としている。ヤップ島南部の高まりには石灰岩が特徴的に産する。地形区分のIIの部分には変成度のより高い，大理石や片麻岩がみられる。また，ソ連のドレッジでは超塩基性岩が地形区分 III より得られている（BAGDANOV *et al.* 1977）。

ドレッジで得られた岩石類は，同じ地点で行なわれた深海カメラの写真を検討した結果，ほとんどのものがその場所にあったものと考えてよさそうである。第5図にはヤップ島近辺の深海カメラによってえられた海底の露頭写真の一例を示した。

ヤップ島の背弧にあたる水深の浅いところからは新鮮な火山岩が得られていること，地殻熱流量がやや高いこと，浅い地震が起こっていることなどから第四紀の火山活動が起こっている可能性が高い（FUJIOKA *et al.* 1986）。



第4図　ヤップ島周辺海域の観測点

Fig. 4　Distribution of the station survey around the Yap Islands
Lines in this figure show the position of the cross sections of the Fig. 2. D : Dredge Haul, C : Deepsea Camera, P : Piston coring, G : Grab, HF : Heat flow measurement.

ヤップ島周辺の表層堆積物はピストンコアやドレッジによって得られている（第4図)。背弧域には赤粘土を主体とした遠洋性粘土が主として産する（P-2, P-3)。

前弧域で得られたピストンコア（P-1）では表層1m 以内のところに脱水脈や層内剪断が見られ，堆積物は著しい変形をうけている（KIMURA *et al.* 印刷中)。

IV. ヤップ島の地史

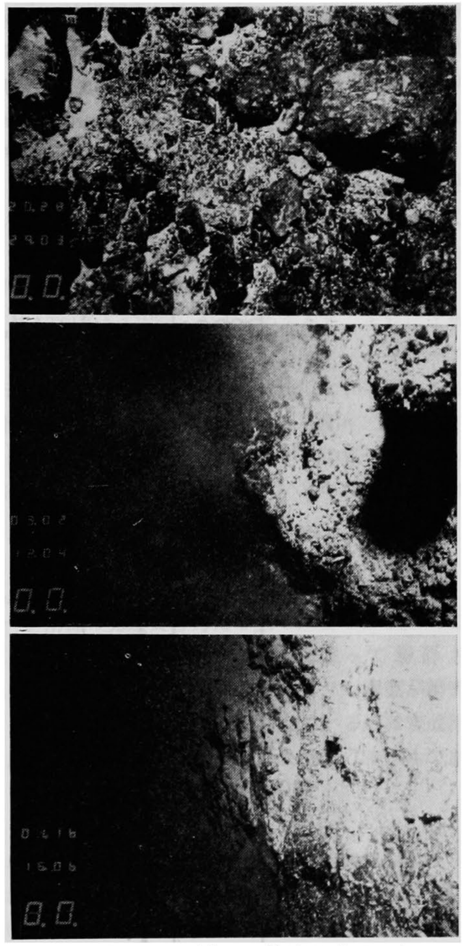
ヤップ島の陸上の地質の観察と従来の研究から，その地史は以下のようになる。ヤップ島ではまず変成岩類が形成された。その原岩はほとんどが玄武岩（溶岩，凝灰岩，ラピリタフ，凝灰角礫岩）やガブロであり，その化学組成は，深海性ソレアイト（MORB）に近いものと，ピクライト質玄武岩のものとがある（SHIRAKI 1971, HAWKINS and BATIZA 1977)。これらの変成岩類は，したがって，海洋底でできた玄武岩類やガブロが海洋底変成作用をうけて変成岩（緑色片岩，角閃岩）となったものと考えられる。この角閃岩類はカタクラサイトになるような後成変形をうけた。また，角閃岩土石流堆積物の起源はその下位の角閃岩やカタクラサイトを主とする。海洋地殻が変成作用を受け粉砕され，それが上昇して土石流堆積物となった。その上位にカコウ岩の礫を含む土石流堆積物とチャンネル充填砂岩，泥灰岩が来る。カコウ岩類にはカリ長石が含まれないことから海洋性のカコウ岩であると考えられる。これらの全体をおおって安山岩質集塊岩を作るような，島弧的な火成活動があり，第四紀の石灰岩類が島全体をおおうようになった。

V. 考察と試論

ヤップ島とその周辺海域で観察されたことがらと様々な文献からヤップ島の周辺に起こっている地球科学現象をまとめたのが第5図である。

地形区分（I, II, III）に認められた前弧域の3つの大きなブロックは，陸上地質とドレッジでえられた岩石種からみて，地形区分Iが海洋地殻の第2層，地形区分IIが第3層，そして地形区分IIIがマントルである可能性がある。

もしヤップ島の陸上部に存在する変成岩類が海洋地殻第2層に相当するとして，ヤップ海溝の平均の深さを8km だとすると，前弧域の真の厚さはおよそ9 km 程度になり，通常の海洋地殻の厚さと比べてもそれほど大きな違いはなく，ヤップ島が海洋性の地殻を持つとすると地形区分IIIがマントルとなっても



第5図 ヤップ島周辺海底の露頭写真

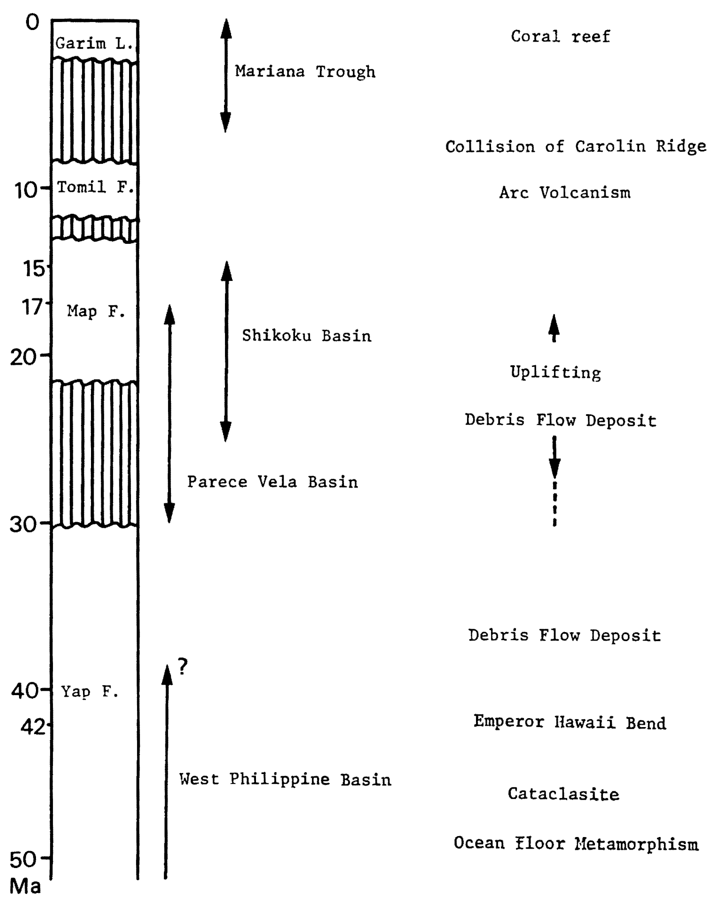
Fig. 5 Submarine photographs of the outcrops around the Yap Islands See camera station of the Fig. 4. 1) KH87-3, C-3. Debris flow deposit of the amphibolite consisting of various sizes of angular breccias. 2) KH87-3, C-4. Cataclasite of amphibolite which is covered with thin sediments. 3) KH87-3, C-5. Less deformed amphibolite.

不思議はない。ソ連のドレッジで著しく変形をうけた蛇紋岩類が前弧域の地形区分 III から得られているのはこのことを示しているのかもしれない。

またヤップ島の超塩基性岩類がマリアナや伊豆・小笠原の前弧域にみられるような蛇紋岩ダイアピルでできている可能性も考えられるが（FRYER *et al.* 1985），マリアナや伊豆・小笠原弧の前弧域における地形断面と産出する岩石とはヤップ島のそれらと大変異なる。

ヤップ島弧—海溝系前弧域の 3 つの地形区分を上記のように考えて，ヤップ島の形成史を考えてみる。

約50Ma には西フィリピン海盆がほぼ南北方向に拡大しており（瀬野・丸山　1985），その海洋地殻は玄武岩やガブロからなり，深部では海洋底変成作用を受けていた。それがヤップ層の本体である。42Ma に太平洋プレートの運動方向がそれ以前の北北西から西北西へとかわるまでの間は，西フィリピン海盆と太平洋プレートの間にはトランスフォーム断層が形成されていた。それは，現在の九州—パラオ海嶺の東側に位置していたと考えられる。トランスフォーム断層の活動に伴ってその深部ではカタクラサイトが形成された。



第 6 図　ヤップ島の発達史

Fig. 6　Geologic development of the Yap Islands
Arrows show the duration of the events. As for the basins they show the years of the opening of the basins.

太平洋プレートとフィリピン海プレートの年代差は約 100Ma ある。MATSUMOTO and TOMODA (1983) は年代と粘性の異なるプレートが互に接していると，冷たく厚いプレートがだんだん垂れ下がって沈み込みが開始することを計算で求めた。

この100Ma 年代の違う２つのプレートの収束境界は約12Ma の時間が経過するまでは定常的な沈み込みを開始しないであろう。西フィリピン海盆は相対的に太平洋プレートの上へとのり上げることになる。断層の西側の部分は東側へのりあげるため相対的に隆起して土石流堆積物を供給した。この経過を通じてトランスフォーム断層を形成していた部分は沈み込みのプレート境界となり，これがヤップ海溝の形成である。こうして，島弧—海溝系が成立し，背弧であるパラセベラ海盆が 30Ma に拡大を開始することになる。以後，取り残された前弧部は，更に上昇を続ける。前弧部にはいくつかの海底谷が形成され，角閃岩を主体とする礫岩，砂岩などの海底谷充塡堆積物を供給する。これがマップ層である。

パラセベラ海盆の拡大は，太平洋プレートの沈み込みによって起こるが，ヤップ弧には島弧的な火山活動が起こる。これがトミール集塊岩であり，その活動はやがてカロリン海嶺のヤップ弧への衝突によって停止する。ヤップ島のディスメンバードオフィオライトが陸上に最終的に表われるのはカロリン海嶺のヤップ弧への衝突時以降と考えている。そしてヤップ弧の周辺にはサンゴ礁が形成されて現在に到った。

ヤップ弧の岩石の放射年代については綱川 (1985) や MATSUDA (1985) のまとめがある。それによれば，ヤップ層群の変成岩類についての放射年代はソ連の研究などを含めても極めて乏しい。メンデレーフ号によるヤップ前弧からカロリン海嶺にかけてのドレッジ試料は８～11Ma の年代を示しているが，その試料の位置からみてカロリン海嶺の年代をみている可能性が高いことが指摘されている（綱川 1985)。ヤップ島の変成岩類の年代は未だ決定されていない。陸上物質の関係から，変成岩類は中期中新世のミオジプシナ石灰岩におおわれていることからそれよりは確実に古く，上記の８～11Ma という年代については検討の余地がある。

VI. まとめ

ヤップ島とその周辺海域の発達史はフィリピン海プレート南部の発達史を考える上で重要である。ここでは，約50Ma に形成された海洋地殻が海洋底変成作用を受け，トランスフォーム断層によって粉砕され，冷たく重いプレートの沈み込みによって新しい島弧—海溝系が形成され，これにカロリン海嶺が衝突することによって陸化したというモデルを考えた。ヤップ島弧—海溝系の基盤を形成しているのは変成作用を受けた縁辺海の海洋地殻であり，それに島弧的な火成活動がオーバープリントしたというモデルである。

この小論は未だ試論の段階を出ていないが，海陸にわたる調査をとおして以下の方々の援助を賜わった。海上の調査にあたっては白鳳丸の乗組み員の方々にお世話になった。松木宏彰，倉本真一，芦寿一郎，松岡裕美，木下正高，小玉一人，瀬野徹三，古家和英，足立泰久の各氏には，ヤップ島の調査やその後の研究の際にいろいろ貴重な御意見を賜わった。記して感謝の意を述べる。

引用文献

青木文武・石川政憲・三沢良文・江川龍一郎 (1976)：ヤップ群島の変成・深成岩礫．海洋科学，8, 35-39.

BAGDANOV, L. *et al.* (1977)： Initial reports of the geological study of oceanic crust of the Philippine sea floor. *Ofiolite*, 2, 137-168.

FUJIOKA, K., FURUTA, T., KIMURA, G., KODAMA, K., KOGA, K., KURAMOTO, S., MATSUGI, H., SENO, T., TAKEUCHI, A., WATANABE, M. and YAMAMOTO, S. (1986)： Sediments and rocks in and around the Palau and Yap Trenches. In TOMODA, Y. ed. "*Preliminary Report of the Hakuho-Maru Cruise KH86-1*", 38-148.

HAMILTON, W. (1979) : Tectonics of the Indonesian region. *U.S. Geol. Surv., Prof. Pap.*, 1078, 270-288.

HAWKINS, J. and BATIZA, R. (1977) : Metamorphic rocks of the Yap arc-trench system. *Earth Planet. Sci. Lettr.*, **37**, 216-229.

伊東正喜・青木文武・上武治巳・金　容義・木下泰正・小松崎通雄・三沢良文(1971)：西太平洋ヤップ群島の酸性深成岩れきの起源．星野・青木編，「伊豆半島」，東海大学出版会，391-399.

KOBAYASHI, K. (1985) : Geological and geophysical investigation of seafloor east of Ogasawara (Bonin) Islands, northern Mariana Trough, southern Mariana, Yap and Palau Trench and Arcs. *Preliminary report of the Hakuho-Maru cruise KH 84-1*. 305p.

MATSUMOTO, T. and TOMODA, Y. (1983) : Numerical simulation of the initiation of subduction at the fracture zone. *J. Phys. Earch*. **31**, 183-194.

MATSUDA, J. (1985) : Sr isotopic studies of rocks from the Philippine Sea and some implications for the mantle materials. In SHIKI, T. ed. "*Geology of the northern Philippine Sea*", Tokai Univ. Press, 63-78.

瀬野徹三・丸山茂徳 (1985)：フィリピン海のテクトニクス．地学雑誌，**94**，141-155.

SHIRAKI, K. (1971) : Metamorphic basement rocks of Yap Islands, western Pacific : possible oceanic crust beneath an island arc. *Earth Planet. Sci. Lettr.*, **13**, 167-174.

田山利三郎 (1935)：ヤップ島群 (Yap Islands)の地形・地質並びにサンゴ礁．東北帝大理地質古生物研究邦文報告，**19**，1-43.

—— (1936)：地学上から見たヤップ島．科学，**6**，61-65.

TOKUYAMA, H., YUASA, M. and MIZUNO, A. (1980) : Conglomerate and sandstone petrography, deep sea drilling project Site 445, Philippine Sea. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Washington* (U.S. Government Printing Office), **58**, 629-641.

TOMODA, Y. (1986) : Geological and geophysical investigation of Mariana, Palau and Yap Arc-Trench systems. *Preliminary report of the Hakuho-Maru cruise KH 86-1*. 148p.

綱川秀夫 (1985)：フィリピン海地域における火成活動の放射年代．地球，**7**，694-700.

YUASA, M. and WATANABE, T. (1977) : Pre-Cenozoic metamorphic rocks from the Daito Ridge in the northern Philippine Sea., *J. Jap. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol.*, **72**, 241-251.

(1989年1月20日受付，1989年4月12日受理)