

北フィジー海盆のリフト系： 日仏共同研究 KAIYO 87 の成果*

KAIYO 87 乗船研究者一同**

Rift system in the North Fiji Basin: Results of Japan-France Cooperative Research on board KAIYO 87*

KAIYO 87 Shipboard Party**

Abstract: Marine scientific survey was conducted in the North Fiji Basin during the period from 28 November 1987 to 2 January 1988 on board the R.V. KAIYO. This cruise was the first phase of the joint cooperation, designated as STARMER project, of Japan, France and the South Pacific countries together for the study of the rift system in the South Pacific backarc basins. The North Fiji Basin has opened with poles on both western and eastern side margins of the basin. This opening implies complicated evolution of the rift system in the North Fiji Basin. The rift axis and magnetic anomaly lineations are not in straight lines throughout the rift system. They are discontinuous and segmented from tens of kilometers to 150 kilometers. Some geomorphological lineations are superimposed and multi-directional. Oblique development of the rift axis to the magnetic anomaly lineations was observed in the southern rift of the triple junction in the central basin. These features suggest that the rift systems in the North Fiji Basin have been variable during its formation and the basin has been formed by spreading of sea-floor with mosaic pattern.

1. はじめに

海洋プレートを形成するリフト（拡大軸）系には、大洋中央海嶺のリフト系と背弧海盆に形成されるリフト系が知られている。背弧海盆の形成に関しては、幾つかの説があり、1) 島弧を形成する活動、つまり海洋プレートの沈み込みと関連して、その力学的あるいは熱的作用により背弧海盆が形成されるとするもの (KARIG, 1971, 1983; MCKENZIE, 1969; TOKSÓZ and BIRD, 1977; SCOTT and KROENKE, 1980; HONZA, 1983), 2) 地球深部に湧昇流があり、そのドリフトで形成されるとするもの (MIYASHIRO, 1986), 3) プレート間の運動の相互作用の結果として形成されるとするもの (DEWEY, 1980; HONZA *et al.*, 印刷中), 4) 島弧が形成される時に、その内側に大洋底の一部がとり込まれて形成される

とするもの (COOPER *et al.*, 1976; WATTS *et al.*, 1977; MATSUDA, 1979; BEN-AVRAHAM and UYEDA, 1983; HILDE and LEE, 1984) 等がある。背弧海盆の形成は、島弧の内的要因によるものと外的要因で形成されると考えるものの二通りに分けることができる。

西太平洋縁辺域には多くの島弧と背弧海盆が分布している。日本周辺にも小笠原弧・琉球弧といったところに活動的背弧海盆がみられる (HONZA and TAMAKI, 1985; YUASA and YOKOTA, 1982; KIMURA, 1985)。しかしながら、その活動は、リフティングの初期にとどまっていると考えられている。現在最も活動的な背弧海盆は南太平洋に多くみられる。その一つに今回の調査を行った北フィジー海盆があり、ここでは現在活発な拡大運動がみられるといわれている (FALVEY, 1978; MALAHOFF, *et al.*, 1982 a,b)。10 Ma (1000万年前) 頃に北東方向からのオントンジャワ海台の衝突がビチャーラ海溝で生じ、その結果、バヌアツ島弧を形成する北からの太平洋プレートの沈み込み帯が停止し、南からの北ローヤルテ

* 1988年2月1日受理 Received February 1, 1988
本報告は日仏両国間の合意により、日仏両文で同時に公表される。

** 本座栄一他詳細は付表1参照

ィー南フィジー両海盆の沈み込み帯が形成され、その内側(北側)に8Ma頃から北フィジー海盆が形成されたと考えられている(COLEMAN and PACKHAM, 1976; FALVEY, 1978; MALAHOFF *et al.*, 1982a, b; GILL *et al.*, 1984; CARNEY *et al.*, 1985)。最初、バヌアツ島弧に平行に北西—南東方向の海盆西端を極として扇形拡大が起り、続いてフィジー諸島のピチレブ島の反時計方向への回転を伴って西側も、東端を極とした扇型拡大となったと考えられている。

本研究は STARMER 1 と名づけられ、南太平洋の背弧海盆とそのリフト系の海洋地学、生物学に関する総合研究を3年ないし5年にわたり、日仏及び南太平洋諸国と共同で実施するものである。本論は海洋科学技術センター所管の「かいよう」で昭和62年11月28日—昭和63年1月2日に実施された、本プロジェクト初年度(昭和62年度)の北フィジー海盆とそのリフト系の調査成果の概要である(Figs. 1 and 2)。昭和63年度には「かいよう」による調査とフランスの「ノチャール」による潜航調査が予定されている。

2. 北フィジー海盆の海底地形と地質

北フィジー海盆は北にピチャージ海溝(古海溝)、西から南にバヌアツ(ニューヘブライデス)島弧、東にフィジー諸島に囲まれた、ほぼ2,500—3,000 m 深の海盆であり、海山、海丘、小起伏が間断なくみられ、起伏に富んだ海底地形を呈している(Fig. 3)。特徴的にみられるものに1)海盆中央域を南北にのびる地形とその中央域の高まり、2)北西域の北西—南東方向の高まりと地溝状地形、3)海盆中央域からフィジー諸島北方を經由してトンガ海溝にのびる断続した凹地、4)フィジーのピチレブ島西方の南北の高まりと凹地、5)海盆北東域から西域に上記の地形に重複して発達する北東—南西方向の地形等がある。このうち1)と2)はリフト系を形成し、3)がトランスフォーム断層、4)はフィジーのピチレブ島の回転に伴った断裂帯であるか、リフト系と解され、海盆中央域の1), 2), 3)の交点がトリプルジャンクション(三重重点)を形成すると考えられている(MALAHOFF *et al.*, 1982a, AUZENDE *et al.*, 印刷中)。5)の

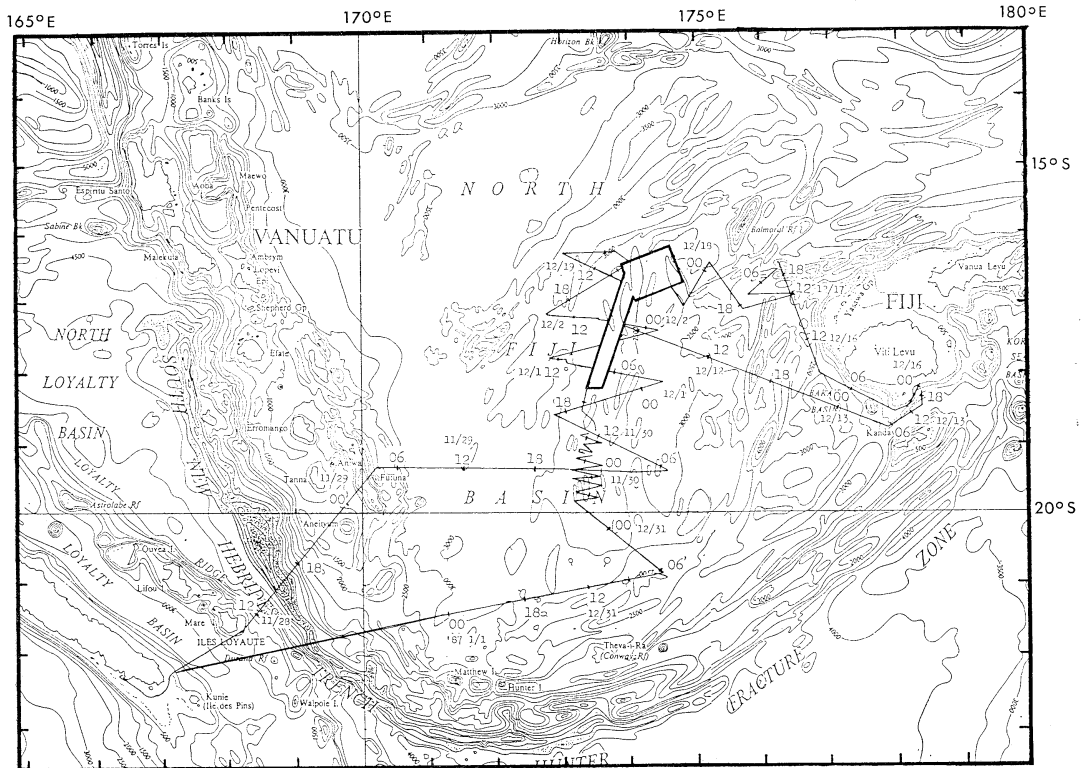


Fig. 1. Track lines and detailed surveyed boxes in the North Fiji Basin by the KAIYO 87 cruise. Bathymetry is based on the chart compiled by KROENKE *et al.* (1983).

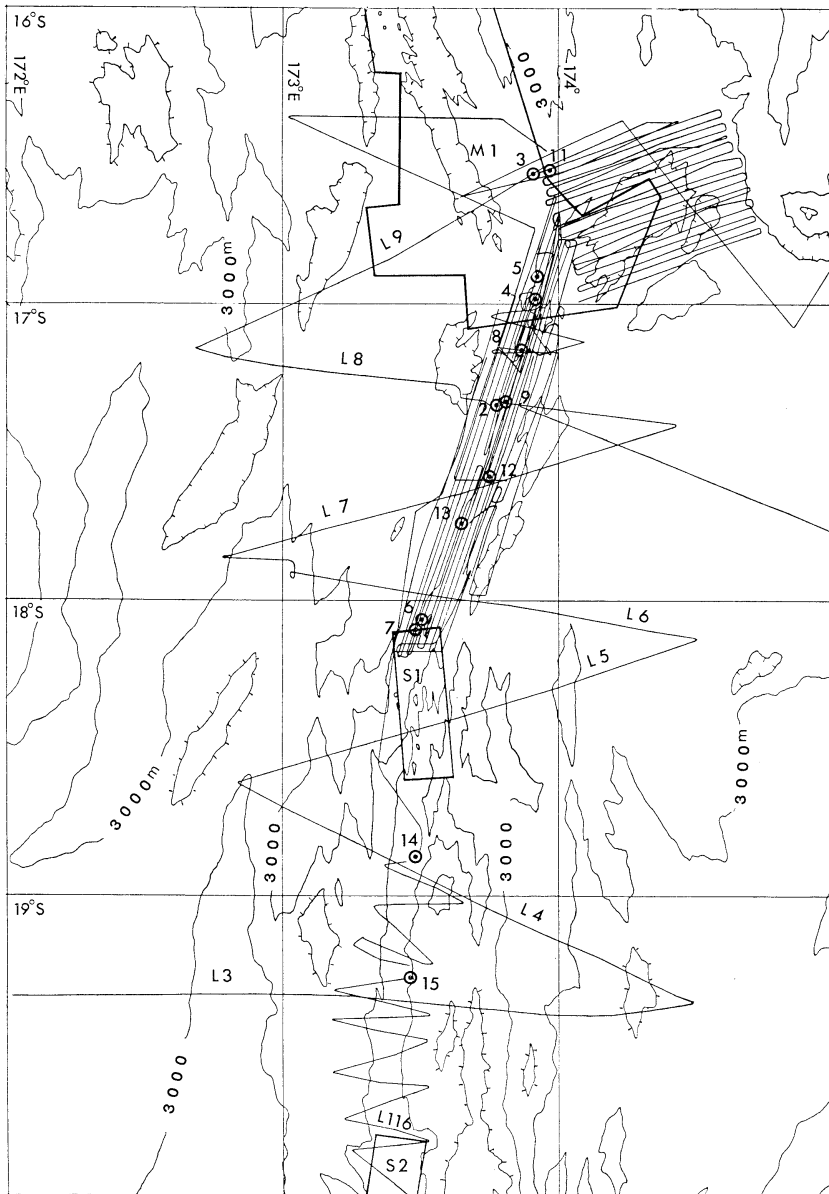


Fig. 2. Track lines and sampling sites (circles with dots) in the rift system of the North Fiji Basin by the KAIYO 87 cruise. M1 is the surveyed area with Seamarc II by HIG, and S1 and S2 are the sea-beam boxes by the SEAPSO cruise.

北東—南西方向の地形は北フィジー海盆を横断する断裂帯であるとの考えもある (CHASE, 1971)。海盆の地域毎に異った方位の地形配列がみられ、上述の主系列の地形は直線上となっているが、細かくみると雁行、並列しているところも多い。

音波探査の結果をみると、一般に海盆縁辺域を除き、

堆積層が薄い。南北の拡大軸周辺には、ほとんど堆積層がみられない (Fig. 3)。これは現在拡大活動をしているリフト周辺であり、若い海洋地殻から成っているということ、陸源堆積物の供給地から離れているためであると解される。

リフト系を中心としてドレッジにより得られた岩石の

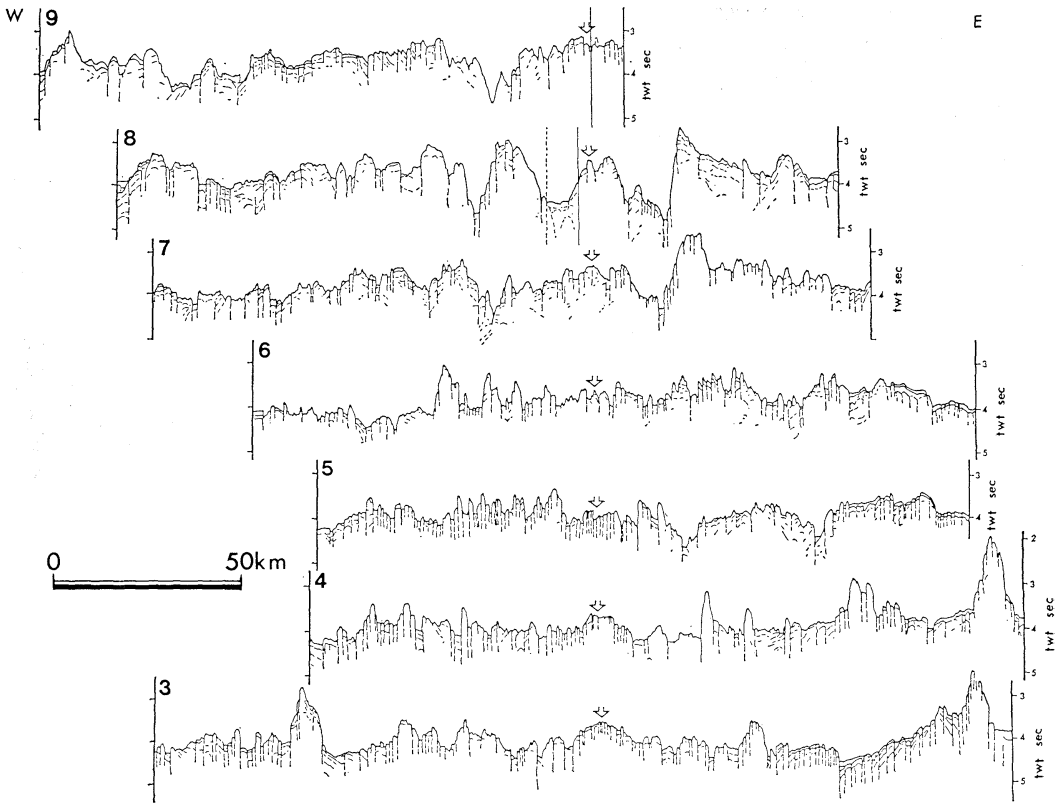


Fig. 3. Reflection seismic profiles in the North Fiji Rift. Arrow indicates rift axis. Little sediments are observed in the rift area.

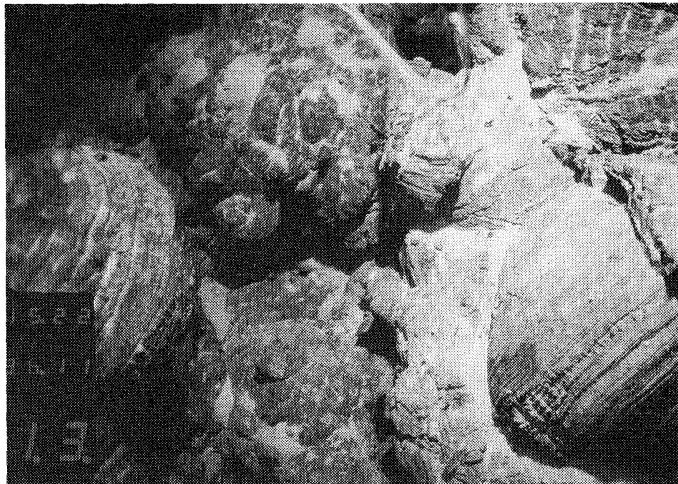


Fig. 4. Pillow basalt taken by deep-tow camera in the rift axis at Station 6.



Fig. 5. Pillow basalt sampled at Station 9 (2720 m deep). Surface of pillow is glassy.

多くは、MORBタイプの aphyric-subophyric の玄武岩から成っているが、一部 porphyritic 玄武岩も認められた (Figs. 4 and 5)。産状は表面がほとんどガラス質クラストから成る枕状溶岩と溶岩クラストであり、主な斑晶として斜長石とオリビンが識別される。

3. 北フィジー海盆中央域のリフト系の形態

リフト系周辺に堆積層が少ない為に海底地形にその構造が直接反映されている。Fig. 6 はシービームによる横断調査等にみられるリフト系とその周辺の地形の起伏の方向を表わしている。リフト軸自身も10数 km から50 km 位までの単位で区切れ、その両端は雁行ないし一部重複して存在することが読みとれる。リフト軸をはさんで両側の地形は対称的なこともわかる。起伏の配列が直線上にみられ、これらはリフトに平行に配列している。しかしながら、リフト系に沿って南北両端まで連続してみられるというのではなく、断続的になっている様子も読みとれる。また、一部に海山、海丘がみられ、リフト軸をはさんで対称的に分布すると思われるものとそうでないものがみられる。

トリプルジャンクション周辺の海底地形には南北と北西—南東のリフト系がよく表われているが、東西ないし東北東—西南西のトランスフォーム断層は判然としないところもある。この断層は約100 km ないしそれ以内で南東方向にずれ、雁行している可能性が高い。また、南域には南北方向以外に北東—南西方向の起伏もみられる。

これらの横断面をみると、リフト軸を中心として対称的地形となっていることが良くわかる (Figs. 7 and 8)。また、幅20 km 位の凹地形の中心域にリフト軸がある場合 (L-5, 6) とリフト域が、その周辺のなかで最も高いところとなり、周辺にそれより低い起伏がみられる (L-

3, 4, 116)、二通りのリフト系が存在することがわかる。また、リフト軸も凹地形となるところ (St. 4) と凸地形となるところ (St. 6) があることがわかる。リフト軸周辺の起伏はリフト軸側が急斜面で、その反対側が緩斜面となっているところが多い。これはリフト系が拡大に伴う引張力の場であり、正断層が形成されていることによるものと考えられる。

4. 地磁気異常からみたリフト系の形成時代

北フィジー海盆の地磁気異常には海底地形にみられるのと同様の傾向があることが航空地磁気異常調査から判断される (MALAHOFF *et al.*, 1982 b)。今回得られた海上地磁気異常の調査結果は、リフト系の拡大形式を詳細に検討できる材料を提供している。海盆中央域の南北性のリフト系には、リフト軸に平行で対称的な地磁気異常がみられる (Fig. 9)。これらの地磁気異常は南北に数10 km から150 km 位の単位で追跡でき、東西ないし北東ないし北東—南西方向の構造線で切られている。調査測線内と AUZENDE *et al.* (印刷中) によるものを合せると地磁気異常 2A (248—292 万年前) まで確認できる。その間の両側への拡大速度をみると、地磁気異常 J (92—97 万年前) まで 4.9—7.2 cm/年、異常 2 (167—187 万年前) で 5.8—6.9 cm/年、異常 2A で 5—5.2 cm/年であり、平均して第四紀に 5—7 cm/年の速度で拡大している。

南北性のリフト系の北部のトリプルジャンクション付近 (18°S—16°S) の地磁気異常のパターンが幾分北々東—南々西方向に向いているが、リフト軸がそれに斜交してさらに北々東—南々西方向に向いている。従って、この部分の拡大が非対称であるか、リフト軸が約100万年以降に、それ以前のリフト軸とは異った方向に、新たに形成されたかである。

5. リフト系の熱水活動

リフト系には循環熱水系が存在すると考えられ、最大で海底面下7 km に達し、一部はマントルにまで浸透している。東太平洋海膨で発見された金属分に富む高温の熱水活動は1980年代の地球科学のビッグテーマの一つになっている。マヌス海盆、ラウ海盆といった背弧海盆においても熱水活動の存在が示唆されている (BOTH *et al.*, 1986; SCHOLL *et al.*, 1985)。

北フィジー海盆のリフト系でも、数多くの地点で熱水活動が存在することが今回の調査で確認された。南北にのびるリフト軸に沿った採水点の全地点からマンガンの

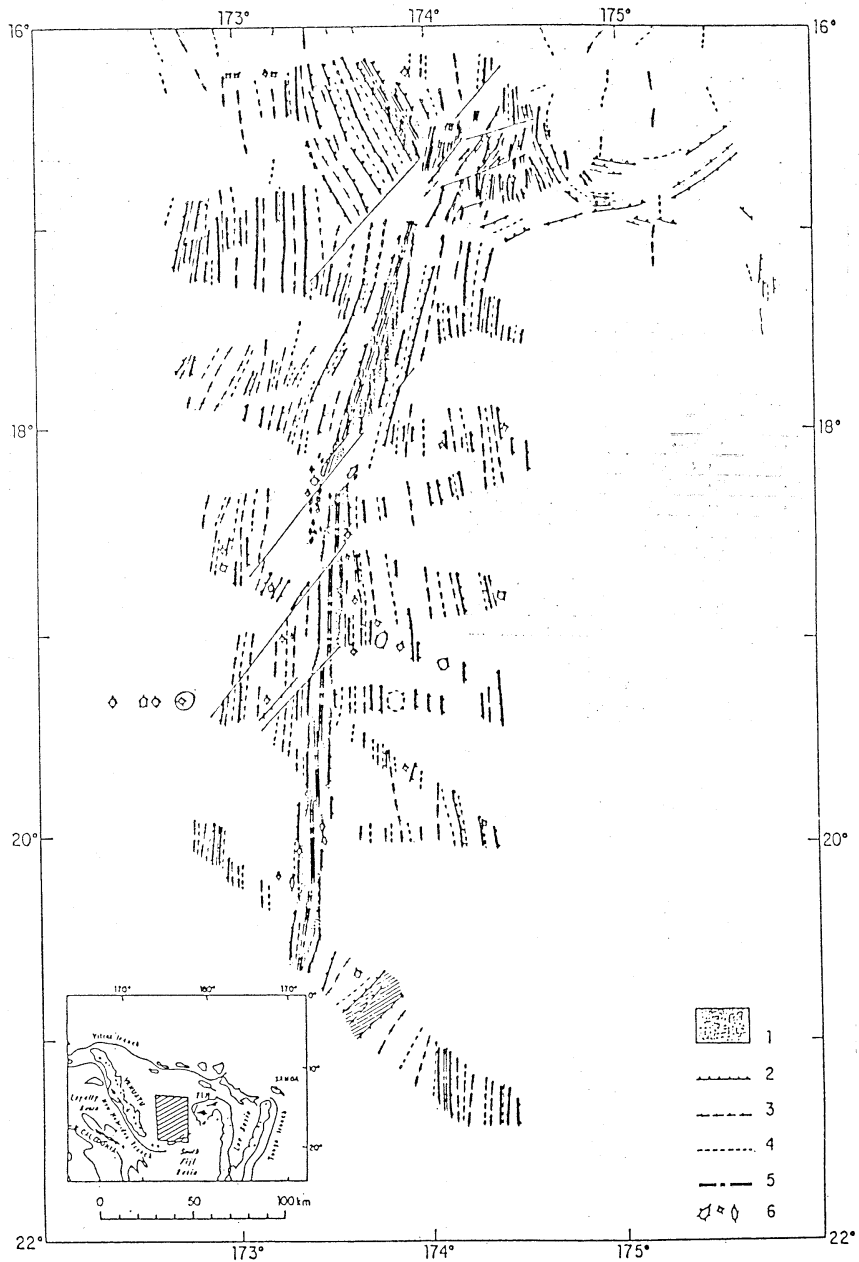


Fig. 6. North Fiji Rift and geomorphological lineations in the axial area observed in sea-beam records. 1, rift area axis with double lines. 2, scarp. 3, ridge. 4, trough axis. 5, rift axis. 6, knoll.

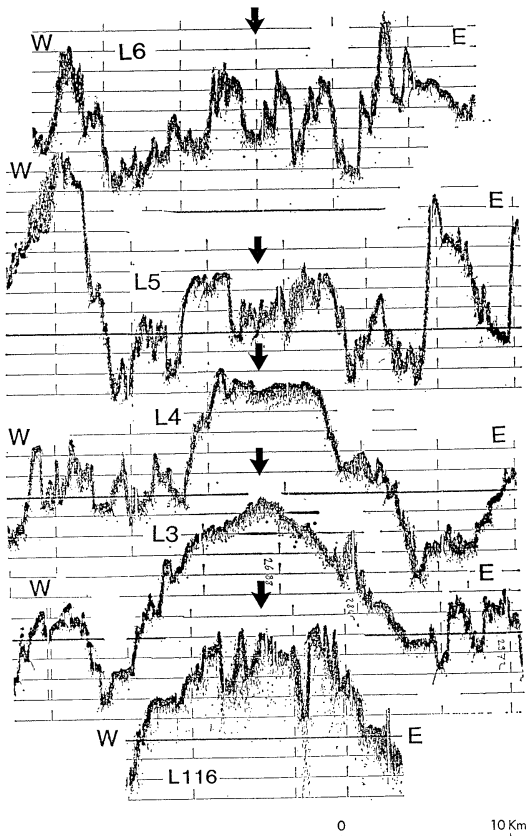


Fig. 7. Topographical profiles in the southern North Fiji Rift. Axis is indicated with arrow.

異常濃集層がみられた。調査海域の南部に位置する St. 14 では最高濃度が 30 nM に近い高濃集層があった。これは通常の採水方法による結果としてガラパゴスの活発な拡大域での調査結果に匹敵するような高い濃度である。マンガン濃度異常の大きな地点では、メタン濃度にも異常がみられた。

これらの異常濃集層のうち2地点で深海テレビを曳航した結果、直立および崩壊したチムニー、赤色沈澱酸化物、硫化物、熱水活動に伴う生物群集がみられた (Fig. 10)。死滅群集と生きている群集の判断は明瞭には下せないが、それらは、シンカイヒバリガイ類の二枚貝、巻貝、シンカイコシオリエビ類、短尾類 (カニ)、フジツボや笠貝、ウロコムシ類 (ゴカイ)、イソギンチャク類等から成り、フジツボ類は深海曳航体のドレッジで採取されている。

高濃度マンガンの検出された底層水中において、バクテリオプラクton細菌相に占める化学合成細菌の割合

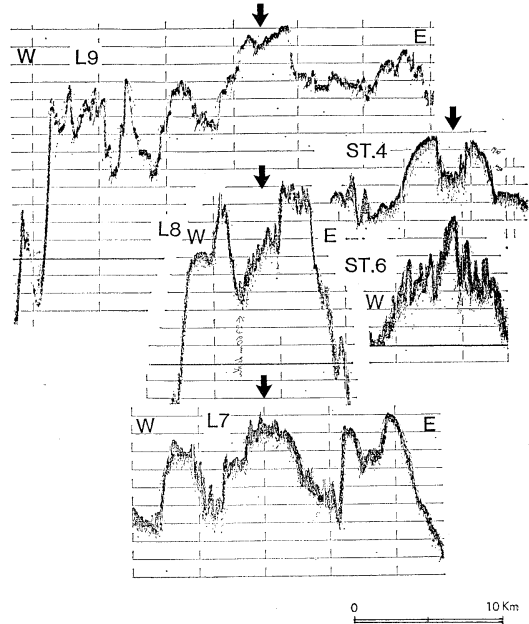


Fig. 8. Topographical profiles in the northern North Fiji Rift. Within area of a few tens of kilometers, two types of rift system are distinguished; depression with steep scarps on both sides of the axis and uplift in the axial area.

は数%から数十%にも及ぶことが明らかになった。底層水中における、このような高い独立栄養細菌組成の存在は、海底における熱水の噴出活動に伴う還元型硫黄の存在を直接的に示唆している。因に、深層水中の細菌相に占める化学合成細菌の割合は 0.1% 未満であった。これらの化学合成細菌の中で、硫化物とチオ硫酸塩とを化学合成過程に利用する2種類の細菌群を分離培養することができた。

現場の天然細菌群集と分離された化学合成細菌の成長速度から、リフト系海底の過剰生物群集にとって、化学合成細菌による基礎生産が従属栄養細菌による生物生産に迫る働きを有することが明らかになった。

6. 考察

北フィジー海盆の形成が一種の蝶開きの形態で起ったと考えられ、その形成過程が複雑であることはある程度考えられるが、今回得られた成果をみると、リフト系の形態も複雑であることが判明した。これは断続したリフト軸、地磁気異常パターン、トリプルジャンクション周辺の複雑な地形等にもみられる。トリプルジャンクショ

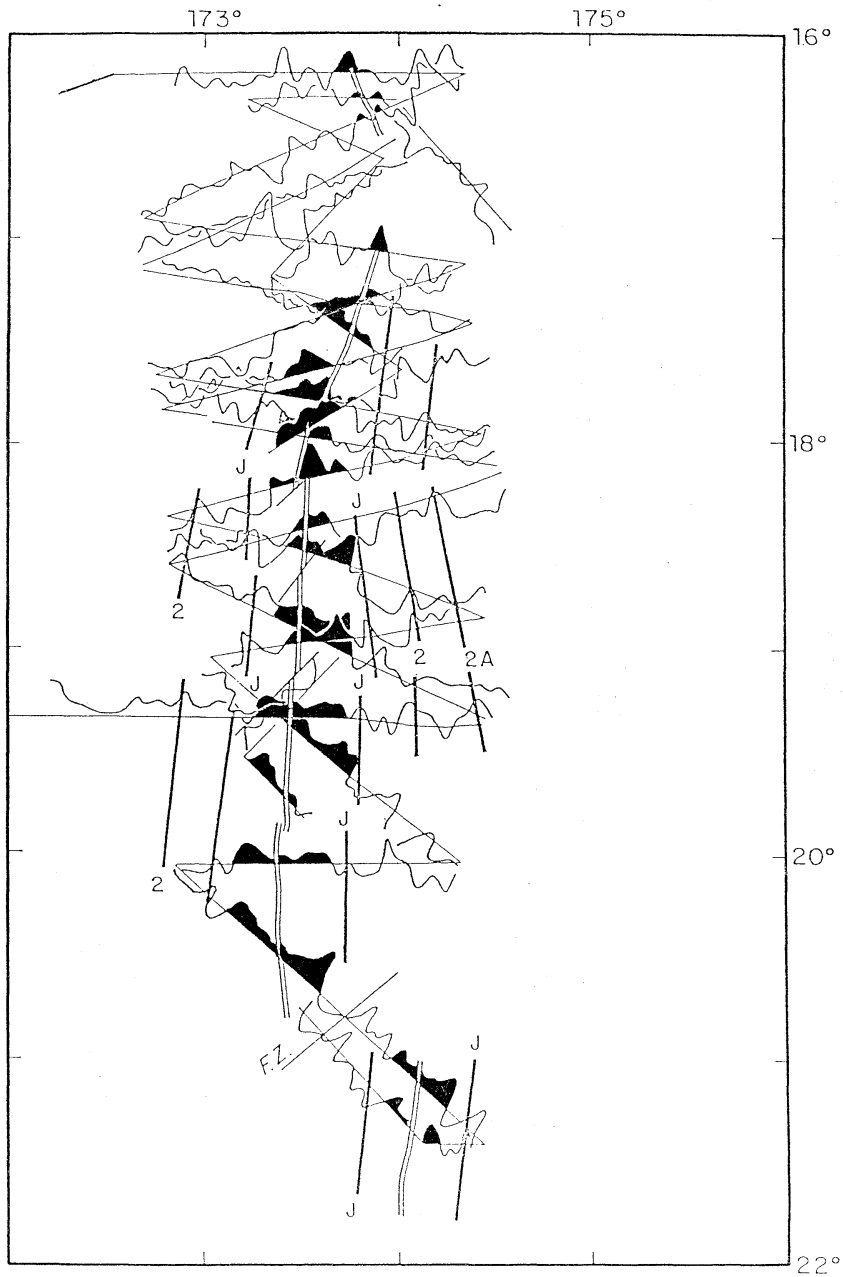


Fig. 9. Magnetic anomalies in the North Fiji Rift.



Fig. 10. Livings associated with hydrothermal vent at Station 4 (1980 m deep).

ン南域のリフト軸と地磁気異常パターンの斜交関係は、第四紀後半になって新たなリフト系が形成されている可能性もあり、リフト系の形成も変化していることを示している。事実、現在のリフト系の方向に平行な方位以外の方位の地形、地磁気異常パターンが重複していると考えられるところも多い。トリプルジャンクション北西方のリフト系の地磁気異常は、未調査部分が多いため、判断としない。ここではリフト系の形成が新しく、最新の地磁気逆転史も表われていない可能性がある。また、このリフト系に関して他の解釈もあり、西方の谷地形(Fig. 6(b), L-9左端)がリフト軸であるという意見もある(L. KROENKE 1987 私信による)。

北フィジー海盆が、もし西北西に進む太平洋プレートと北に進むインド・オーストラリアプレートの合力が境界域で歪みを起こすことから形成されるとすると、その応力場が複雑となり、リフト系の形成もある程度変化することが考えられる。このような場合に形成される背弧海盆は、複雑に変化するリフト系に従ってモザイク状に形成されていくことも考えられる。

今回の調査でリフト系に多くの熱水活動が示唆されたわけであるが、熱水活動の調査にはピンポイントで操作できる曳航体、潜水艇等の調査手段も必要とならう。

謝 辞

本研究は科学技術振興調整費による日仏共同研究の成果であり、日仏両国および南太平洋諸国の各種委員会での討議と決定の上に成り立っている。関係者各位に深甚

の謝意を呈する。海中作業船「かいよう」の浜本隆史船長はじめ乗組員の皆様には調査航海を通じて常に協力いただいた。併せて深甚の謝意を呈する。

文 献

- AUZENDE, J.M., J.P. EISSEN, Y. LAFOY, P. GENTE and J.L. CHARLOU (in press): Sea floor spreading in the North Fiji Basin (SW Pacific). *Tectonophysics* **104**.
- BEN-AVRAHAM, Z. and S. UYEDA (1983): Entrapment origin of marginal seas. *In* T.W.C. HILDE and S. UYEDA (ed.), *Geodynamics of the Western Pacific*. Amer. Geophys. Uni., *Geodynamics Ser.*, 91-104.
- BOTH, R., K. CROOK, B. TAYLOR, S. BROGAN, B. CHAPPELL, E. FRANKEL, L. LIU, J. SINTON and D. TIFFIN (1986): Hydrothermal chimneys and associated fauna in the Manus back-arc basin, Papua New Guinea. *Eos*, **67**(21): 489-490.
- CARNEY, J.N., A. MACFARLANE and D.I.J. MALLICK (1985): The Vanuatu Islands: an outline of the stratigraphy, structure, and petrology. *In* A.E.M. NAIRN, F.G. STEHLI and S. UYEDA (ed.), *The Ocean Basins and Margins*. Plenum Publ. Co., N.Y., **7A**: 459-502.
- CHASE, C.G. (1971): Tectonic history of the Fiji plateau. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **82**: 3087-3110.
- COLEMAN, P.J. and G.H. PACKHAM (1976): The Melanesian borderlands and India-Pacific plates boundary. *Earth Sci. Rev.*, **12**: 197-233.
- COOPER, A.K., M.S. MARLOW and D.W. SCHOLL (1976): Mesozoic magnetic lineations in the

- Bering Sea marginal basin. *J. Geophys. Res.*, **81**: 1916-1934.
- DEWEY, J.L. (1980): Episodicity, sequence, and style at convergent plate boundaries. *In* STRANGWAY (ed.), *The Continental Crust and its Mineral Deposits*. Geol. Assoc. Canada, Sp. Paper, **20**: 553-573.
- FALVEY, D.A. (1978): Analyses of paleomagnetic data from the New Hebrides. *Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys.*, **9**: 117-130.
- GILL, J.B., A.L. STORK, and P.M. WHELAN (1984): Volcanism accompanying back-arc basin development in the Southwest Pacific. *Tectonophysics*, **102**: 207-224.
- HILDE, T.W.C. and C.S. LEE (1984): Origin and evolution of the West Philippine Basin: A new interpretation. *Tectonophysics*, **102**: 85-104.
- HONZA, E. (1983): Evolution of arc volcanism related to marginal sea spreading and subduction at trench. *In* D. SHIMOZURU and I. YOKOYAMA (ed.), *Arc Volcanism and Tectonics*. Terra Sc. Publ. Co., Tokyo, p. 177-189.
- HONZA, E., H.L. DAVIES, J. KEENE and D.L. TIFFIN (1987): Plate boundaries and evolution of the Solomon Sea region. *Geo-Marine Let.*, **7**: 161-168.
- HONZA, E. and K. TAMAKI (1985): The Bonin Arc. *In* A.E.M. NAIRN, F.G. STEHLI and S. UYEDA (ed.), *The Ocean Basins and Margins*. Plenum Publ. Co., N.Y., **7A**: 459-502.
- HONZA, E., T. MIYAZAKI and J. LOCK (in press): Subduction erosion and accretion of the trenches in the Solomon Sea region. *Tectonophysics*, **104**.
- KARIG, D.E. (1971): Origin and development of marginal basins in the Western Pacific. *J. Geophys. Res.*, **76**: 2542-2561.
- KARIG, D.E. (1983): Temporal relationships between backarc basin formation and arc volcanism with special reference to the Philippine Sea. *In* D.E. HAYES (ed.), *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*. Part 2. Amer. Geophys. Union, *Geophys. Monogr.* **27**: 318-325.
- KIMURA, M. (1985): Back-arc rifting in the Okinawa Trough. *Marine and Petroleum Geology*, **2**: 222-240.
- KROENKE, L.W., C. JOUNANNIC and P. WOODWARD (1983): Bathymetry of the Southwest Pacific, chart 1 of the geophysical atlas of the Southwest Pacific. CCOP/SOPAC.
- MALAHOFF, A., R.H. FEDEN and H.S. FLEMING (1982a): Magnetic anomalies and tectonic fabric of marginal basins north of New Zealand. *J. Geophys. Res.*, **87**: 4109-4125.
- MALAHOFF, A., S.R. HAMMOND, J.J. NAUGHTON, D.L. KEELING and RICHMOND (1982b): Geophysical evidence for post-Miocene rotation of the island of Viti Levu, Fiji, and its relationship to the tectonic development of the North Fiji Basin. *Earth Planet. Sci. Let.*, **57**: 398-414.
- MATSUDA, T. (1979): Collision of the Izu-Bonin arc with central Honshu: Cenozoic tectonics of the Fossa Magna, Japan. *In* S. UYEDA, R.W. MURPHY and K. KOBAYASHI (ed.), *Geodynamics of the Western Pacific*. Center Acad. Publ. Japan, Tokyo, p. 409-421.
- MCKENZIE, D.P. (1969): Speculations on the consequences and cause of plate motions. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **18**: 1-32.
- MIYASHIRO, A. (1986): Hot regions and the origin of marginal basins in the Western Pacific. *Tectonophysics*, **122**: 195-216.
- SCHOLL, D.W., T.L. VALLIER and G.H. PACKHAM (1985): Framework geology and resource potential of southern Tonga Platform and adjacent terranes - A synthesis. *In* D.W. SCHOLL and T.L. VALLIER (eds.), *Geology and Offshore Resources of Pacific Island Arcs-Tonga Region*. Circumpac. Council Energ. Miner. Resources, Houston, Texas, p. 457-488.
- SCOTT, R. and L.W. KROENKE (1980): Evolution of back arc spreading and arc volcanism in the Philippine Sea: Interpretation of Leg 59 DSDP results. *In* D.E. HAYES (ed.), *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*. Amer. Geophys. Union, *Geophys. Monogr.*, **23**: 283-291.
- TOKSÖZ, M.N. and P. BIRD (1977) Formation and evolution of marginal basins and continental plateaus. *In* M. TALWANI and W.C. PITMAN III (eds.), *Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-arc Basins*. Amer. Geophys. Union, p. 379-393.
- UYEDA, S. (1986): Facts, ideas and open problems on trench-arc-backarc systems. *In* F.C. WEZEL (ed.), *Origin of Arcs*, p. 435-460.
- UYEDA, S. and H. KANAMORI (1979) Backarc opening and the mode of subduction. *J. Geophys. Res.*, **84**: 1049-1061.
- WATTS, A.B., J.K. WEISSEL and R.L. LARSON (1977): Sea-floor spreading in marginal basins of the western Pacific. *Tectonophysics*, **37**: 167-181.
- YUASA, M. and S. YOKOTA (1982): Hydrothermal manganese and ferromanganese concretions from sea-floor of the Ogasawara Arc-Trench region, Northwestern Pacific. *CCOP Tech. Bull.*, **15**: 51-64.

付表 1. KAIYO 87 乗船研究者名簿

本座栄一, GSJ	Jean-Marie AUZENDE, IFREMER	Xavier BOESPFLUG, BU
Satendra DEO, MRD	Jean-Philippe EISSEN, ORSTOM	橋本 惇, JAMSTEC
Philippe HUCHON, CNRS	石橋純一郎, ORI	岩渕 洋, HDJ
Philip JARVIS, HIG	上嶋正人, GSJ	岸本清行, GSJ
栞原保人, GSJ	Yves LAFOY, BU	松本 剛, JAMSTEC
Jean-Pierre MAZE, IFREMER	満沢巨彦, JAMSTEC	門馬大和, JAMSTEC
長沼 毅, TU	野尻幸宏, NIES	太田 秀, ORI
大塚 清, JAMSTEC	奥田義久, SOPAC	Helène ONDREAS, IFREMER
大槻 晃, NIES	Etienne RUELLAN, BU	Myriam SIBUET, IFREMER
棚橋 学, GSJ	田中武男, JAMSTEC	浦辺徹郎, GSJ

所属略語: BU, Bretagne University, France; CNRS, Centre National de la Recherche scientifique/*INSU-ENS*, France; GSJ, 地質調査所; HDJ, 海上保安庁水路部; HIG, Hawaii Institute of Geophysics, *University of Hawaii*, USA; IFREMER, Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, France; JAMSTEC, 海洋科学技術センター; MRD, Mineral Resources Department, Fiji; NIES, 国立公害研究所; ORI, 東京大学海洋研究所; ORSTOM, Institut Français de Recherche scientifique pour le Développement en Coopération, France; SOPAC, Committee for Co-ordination of Joint Prospecting for Mineral Resources in South Pacific Offshore Areas (CCOP/SOPAC) *Suva*; TU, 筑波大学生物科学研究科.