

琉球列島久米島の後期鮮新世玄武岩中のネプチュニアンダイク

Neptunian dykes in Late Pliocene basaltic rocks, Kumejima Island, Ryukyus, southwest Japan

飯島康夫 金折裕司 佐野弘好

Yasuo Iijima, Yuji Kanaori and Hiroyoshi Sano

地質学雑誌 第110巻 第8号 別刷

2004年8月

THE JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN VOL. 110 NO. 8

August 2004

琉球列島久米島の後期鮮新世玄武岩中のネプチュニアンダイク

Neptunian dykes in Late Pliocene basaltic rocks, Kumejima Island, Ryukyus, southwest Japan

飯島康夫* 金折裕司** 佐野弘好***

Yasuo Iijima*, Yuji Kanaori** and
Hiroyoshi Sano***

2003年5月6日受付.

2004年6月16日受理.

* 八千代エンジニアリング株式会社九州支店
Kyushu Regional Office, Yachiyo Engineering Co. Ltd, Arato
2-1-5, Chuo-ku, Fukuoka 810-0062, Japan

** 山口大学理学部
Faculty of Science, Yamaguchi University, Yoshida 1677-1,
Yamaguchi 753-8512, Japan

*** 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門
Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu Uni-
versity, Fukuoka 812-8581, Japan

Abstract: This note presents mesoscopic and microscopic features of neptunian dykes of calcareous sediments hosted by Late Pliocene basaltic lavas of the Uegusukudake Formation of Kumejima Island, the Ryukyus. The dykes, 1 to 20 cm wide, consist mainly of micritic limestone rich in varied skeletal debris of a shallow marine affinity, with a subhorizontal depositional surface. Two dominant strikes of the dykes, NE and NW, are parallel and perpendicular to the modern central axis of the Okinawa Trough, respectively. The youngest foraminifera in the dykes were identified as *Globorotalia inflata*, of which first appearance is in Late Pliocene. Available K-Ar age data of the basaltic lava and Sr age data of the overlying Ryukyu Limestones indicate that infilling rapidly occurred during a period from 2.1 Ma to 1.3 Ma. These data are synthesized as follows. Open fractures formed due to rifting in an extensional regime, and were filled with shallow-marine calcareous sediments to form neptunian dykes under the sea. This rifting is postulated to have been related to the reactivation of rifting at the Okinawa Trough.

Key words: clastic dyke, extension, foraminifera, Late Pliocene, limestone, neptunian dyke, Okinawa Trough, shell fossil, tectonics,

はじめに

沖縄県久米島は琉球列島のほぼ中央に位置している(第1図a)。久米島の北部海岸に分布する後期鮮新世玄武岩中に石灰質砕屑岩脈群を見出した。この砕屑岩脈は、有孔虫、軟体動物、ウニなどの化石粒子に富む。産状および内部構造から、この砕屑岩脈は玄武岩中の開口した裂隙が、浅海性石灰

質堆積物によって充填された、ネプチュニアンダイク(Smart et al., 1988)であると判断した。

さらに、この玄武岩溶岩中には、水圧破碎構造(母岩の構造を破壊する方解石の細脈群)とスラスト群から構成されるデュープレックス構造も認められる。リフティング周辺での剪断場の形成は Curewitz and Karson (1977) に示されており、後期鮮新世以降、当地域が沖縄トラフの活動と関係して複雑な応力場に置かれたと考えられる。このスラスト群にはネプチュニアンダイクに変位を与えているものと逆に貫かれているものがあり、これらの形成時期はほぼ同時期であると判断される。

本論文では、久米島北部海岸のネプチュニアンダイクの特徴を記載するとともに、岩脈に含まれる有孔虫化石年代と玄武岩の噴出年代に関する新しい資料を示した。これらに基づいて、岩脈の形成時期および沖縄トラフの活動との関連性を予察的に論じた。

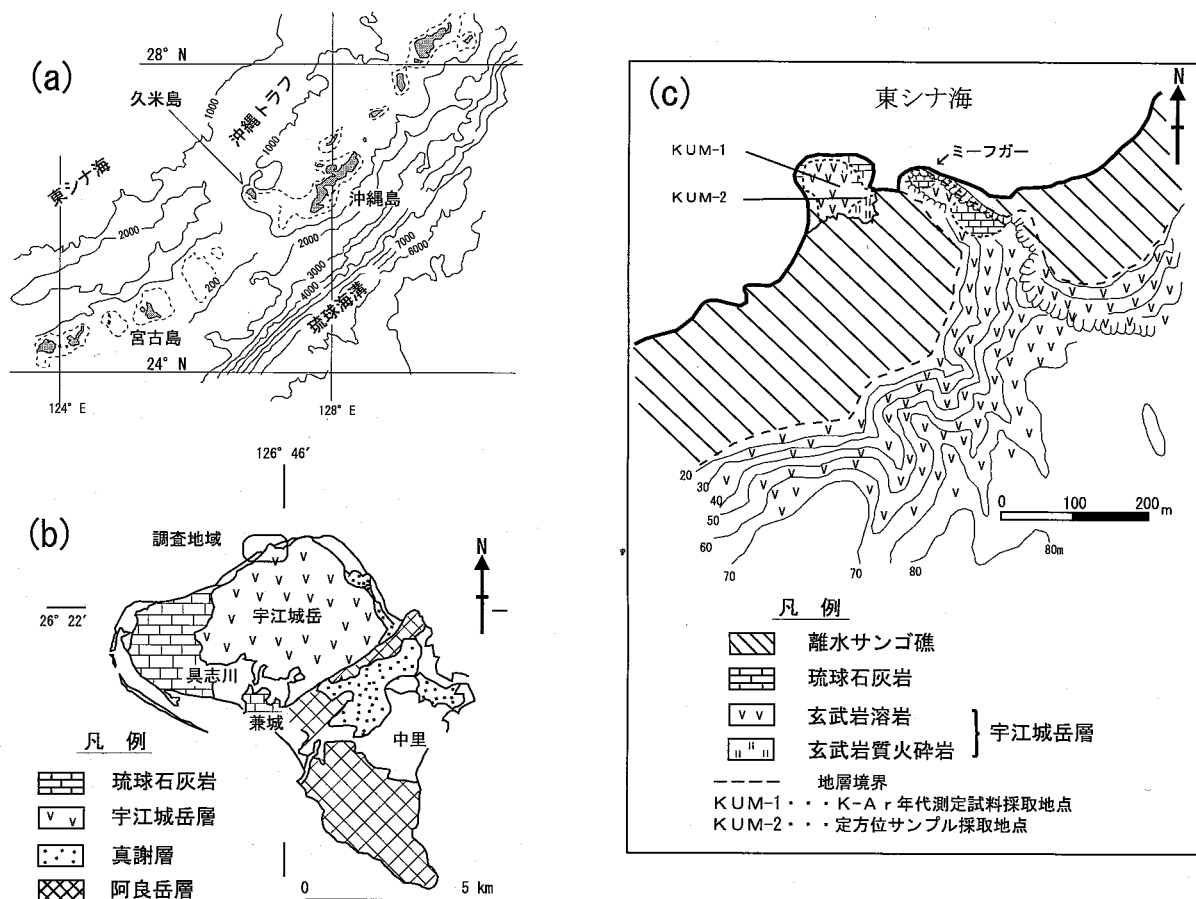
その結果、本地域のネプチュニアンダイクは、2 Ma 以降の沖縄トラフの再活動によって形成されたと判断した。

地質概要

沖縄県久米島の北部海岸には、上部鮮新統宇江城岳層^{うえぐすくだけ}に属する玄武岩溶岩・同質火砕岩を基盤として、更新統琉球層群や完新統離水サンゴ礁が分布する(第1図b, c: 中川・村上, 1975)。宇江城岳層は全体にNE~ENEの走向をもち、北に10~20°で緩く傾斜する。琉球石灰岩は宇江城岳層を不整合に覆う。不整合面はNE走向で20~40°の北傾斜を示す。完新統離水サンゴ礁は海拔高度約2 mの海食平坦面をなして分布する。

北部海岸のほぼ中央には、離水サンゴ礁の平坦面から10~20 mの高さで突出した尾根状の地形がみられ、その最北部は“ミーフガー”と呼ばれる景勝地となっている。ミーフガーを含め、この突出部は主に宇江城岳層の玄武岩溶岩および同質火砕岩からなる(第1図c)。玄武岩溶岩は黒色緻密で、1~3 mm大のカンラン石の斑晶で特徴づけられるほか、一部に単斜輝石の斑晶も認められる。石基は主に斜長石と単斜輝石からなる。本層の玄武岩溶岩は、伊藤・白木(1999)によりMgOを9~16 wt%含むピクライト質玄武岩であることが明らかにされている。玄武岩質火砕岩は径数cmの玄武岩溶岩の垂角礫~角礫を含み、シルト~砂サイズの火山砕屑物を基質とする。玄武岩溶岩に比べて軟質である。

琉球石灰岩は、二枚貝、巻貝、サンゴ、有孔虫、コケムシ、ウニ棘などを含む。石灰岩の基底部では径10~30 cmの玄武岩溶岩の円礫が多量に含まれる。礫は定向配列を示し、配



第1図 久米島の位置 (a) と久米島の地質図 (b) および北部海岸周辺の地質図 (c) (中川・村上, 1975 を一部改変). (c) には試料採取地点を示した.

列面は約 $20 \sim 30^\circ$ で北に傾斜している. 本石灰岩は中川・村上 (1975) により久米島の琉球石灰岩下部北原層の最下部とされている.

ネプチュニアンダイクの産状・岩質

石灰質碎屑岩脈は, ミーフガー付近の宇江城岳層の玄武岩溶岩中に数多く認められた. 幅は数 mm から 20 cm まで変化するが, 10 cm 程度が多い. 膨縮・分岐しながらも数 m $\sim$ 10 数 m にわたって追跡できる. 岩脈と壁岩の境界は非常に明瞭で, 壁岩の風化は認められない (第2図 a). 岩脈中にはしばしば壁岩の玄武岩破片が含まれている.

碎屑岩脈を構成するのは石灰岩で, 色は灰白色 $\sim$ 黒灰色であり, 有孔虫化石を含む黒色 $\sim$ 褐色有機質ミクライト, 貝化石を含有するミクライト質石灰岩, 溶岩片を含むミクライトなどからなる. 露頭で巻貝・二枚貝化石がほぼ水平に配列するのが観察される (第3図) ほか, 鏡下でも, 化石の配列, 化石内部のジオピタル構造, 級化構造から判断される充填堆積面はほぼ水平である. (第4図).

第2図 b は, NNW 方向と ENE 方向の碎屑岩脈が高角度で斜交している産状を示し, 碎屑岩脈のほかに網目状に発達する方解石細脈も多く認められる. 網目状に発達する方解石

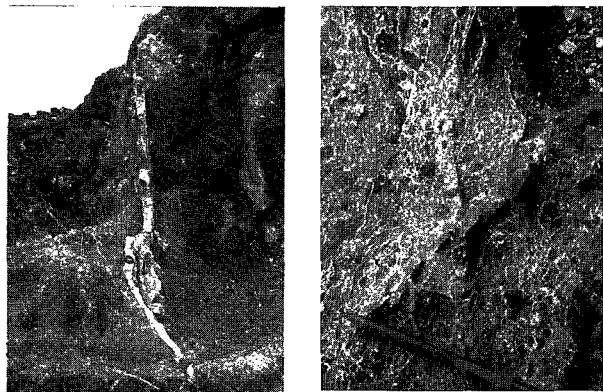
細脈は母岩の組織を破壊している.

碎屑岩脈は, さまざまな走向を示すものの, NW 方向と NE 方向にやや集中性が認められる (第5図). 沖縄トラフの方向が NE $\sim$ ENE 方向を示すので, 碎屑岩脈の方向は沖縄トラフに直交および平行方向であることになる. また, 岩脈の傾斜は一般に高角度である.

Smart et al. (1988) は海底裂罅または凹部を海成堆積物が充填して形成される碎屑岩脈をネプチュニアンダイクとした. 久米島北部の石灰岩質碎屑岩脈は, 産状, 岩質, 内部構造から, 玄武岩中の開口裂罅部を充填した内成堆積物であると解釈され, ネプチュニアンダイクと判断される. またこの形成場のテクトニクスは, 共役割れ目や母岩を破碎する方解石脈を伴うことから, 単純な引張テクトニクスだけでは説明ができないと考える.

玄武岩およびネプチュニアンダイクの年代データ

宇江城岳層のピクライト質玄武岩試料 (KUM-1: 採取位置は第1図 c 参照) を用いて K-Ar 年代測定を実施した結果, 2.2 ± 1.1 Ma が得られた (第1表: Teledyne Isotopes 社測定). この K-Ar 年代値は, 従来知られている宇江城岳層溶岩の K-Ar 年代値 (2.76 ± 0.48 Ma: 伊藤・白木, 1999:



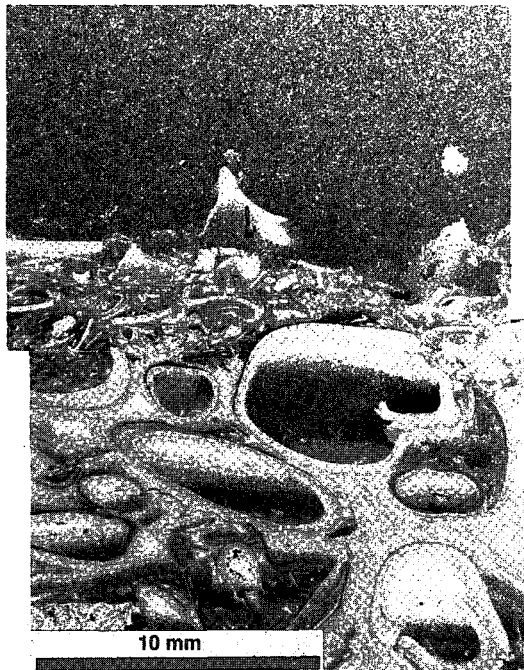
第2図 玄武岩溶岩中の石灰質砕屑岩脈。(a) では急崖部分にほぼ直線状に上下鉛直直線方向に砕屑岩脈(写真ほぼ中央)が分布し、下部で緩く湾曲する。その周辺には方解石細脈が発達する。(b) では水平面部分に見られた2方向の砕屑岩脈、これらは高角で斜交している。周辺には方解石細脈が認められる。



第3図 ほぼ鉛直な崖の面で認められる巻貝・二枚貝の化石を多く含む石灰質砕屑岩脈。砕屑岩脈は二枚貝・巻貝・有孔虫を含み、石灰泥基質からなるミクライト質石灰岩から構成される。写真中央部の三角形を示す黒色の岩脈部には、二枚貝の化石がほぼ水平の配列で密集している。この試料(KUM-2)の採取地点は第1図に示した。

2.13 ± 0.19 Ma: 北川・新城, 2001) と調和的である。今回年代測定した岩石試料は一部で有色鉱物のイデイングサイト化やごくまれに方解石化が認められる程度で新鮮である。測定誤差が大きい理由は、カリウムの含有量と放射性 ^{40}Ar の含有量が少ないことであると考えられる。

一方今回検討したネプチュニアンダイクから、熱帯～亜熱帯域に特徴的な *Pulleniatina* 属, *Sphaeroidinella* 属, *Globorotalia* 属, *Globigrinoides* 属, *Neogloboquadrina* 属などの有孔虫化石が見出された。産出有孔虫の生息期間は *Pulleniatina* 属が後期中新世以降, *Sphaeroidinellopsis seminulina* が後期中新世から後期鮮新世前期までの間, *Globorotalia crassaformis* が前期鮮新世以降, *Globorotalia inflata* が後期鮮新世以降からであることが、それぞれ知られている(第6図; Bolli and Saunders, 1985)。したがって、最も出現が遅い *Globorotalia inflata* の出現時期が



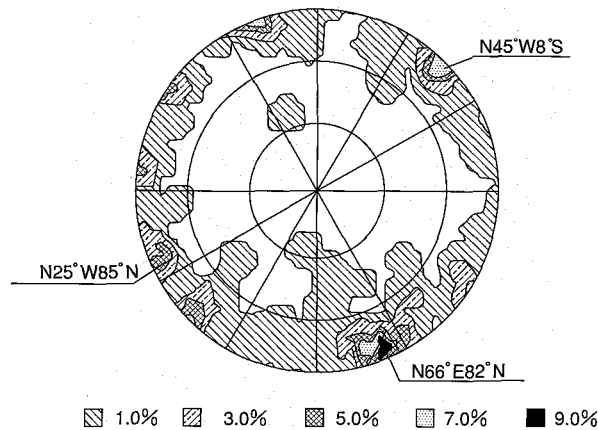
第4図 巻貝・二枚貝の化石を多く含む石灰質砕屑岩脈の定方位試料の薄片写真(下方ポーラー)。二枚貝化石がほぼ水平に並ぶとともに、その周辺には二枚貝化石の破片が密集する。基質部分は暗褐色ミクライトである。また、二枚貝の内部には半充填構造(ジオビタル構造)が認められ、その堆積面はほぼ水平である。試料は第3図に示した砕屑岩脈の中央白色部分から採取されたものである。

ら、充填している石灰岩の形成時期は後期鮮新世以降ということになる。

ネプチュニアンダイク形成の時期とそのテクトニックな意味

久米島北部のネプチュニアンダイクは宇江城岳層の玄武岩溶岩中に発達し、琉球石灰岩内には認められないこと、サンゴ破片を含まないこと、上位の琉球石灰岩とは岩質が大きく異なることから、玄武岩溶岩噴出以降、琉球石灰岩の堆積前に形成されたことは疑いない。一方、琉球石灰岩基底部の堆積年代として、沖縄本島で 1.3 Ma の Sr 同位体年代が知られている(兼子・伊藤, 1995)。このことからネプチュニアンダイク形成の時期は 1.3 Ma 以前である。開口割れ目の充填時期は、(1) 伊藤・白木(1999)の K-Ar 年代にしたがうと 2.76 ~ 1.3 Ma, (2) 北川・新城(2001)の K-Ar 年代にしたがうと 2.1 ~ 1.3 Ma, (3) 今回計測した K-Ar 年代測定の結果にしたがうと 2.2 ~ 1.3 Ma, となる(第6図)。今回測定した K-Ar 年代に誤差が大きいことを考慮すると、ネプチュニアンダイクの形成時期は 2.76 ~ 1.3 Ma あるいは 2.1 ~ 1.3 Ma となる。さらにネプチュニアンダイクを覆う玄武岩が無いこと、充填する石灰岩は熱の作用を受けていないことから判断すると、形成時期は 2.1 ~ 1.3 Ma とするのが妥当である。これは含有される有孔虫化石が示すネプチュニアンダイクの形成時期と矛盾しない。

また、ネプチュニアンダイクと壁岩の境界が明瞭で、境界



第5図 石灰質碎屑岩脈の方向性（岩脈面の極をシュミット網下半球投影，データ数は89データ）。

第1表 宇江城岳層玄武岩の全岩 K-Ar 年代測定結果，分析は2回実施し，年代は平均値で示した。

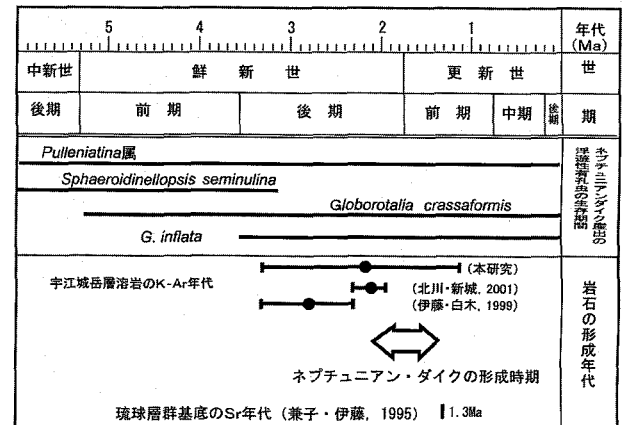
Sample	K content	Rad. ^{40}Ar	Rad.	K-Ar age
Number	(wt.%)	(10 ⁻⁶ cc/gm)	^{40}Ar (%)	$\pm 1\sigma$ (Ma)
KUM-1	0.53	0.004	6.2	2.2 $\pm$ 1.1
	0.53	0.004	5.6	

面に風化が認められず，ネプチュニアンダイク中に含まれる玄武岩破片が角礫状であり，玄武岩以外の岩種の破片を含まないことから，開口裂隙の形成と裂隙充填はほぼ同時期であったと推定される。以上のことから，ネプチュニアンダイクは，当時玄武岩を覆っていた石灰質堆積物が運搬され，再堆積して，玄武岩溶岩中に形成された開口裂隙を充填して形成されたと考えられる。

沖縄トラフの活動は古川（1991）によると，次のようにまとめられている。（1）沖縄トラフの形成史は中新世以降に始まる，（2）トラフの原形は中新世～鮮新世に形成され，現在の活動は約2 Ma以降の再活動である，（3）更新世にトラフ形成が急激に行なわれ，現在も継続している。したがって，久米島北部海岸に発達するネプチュニアンダイクは，沖縄トラフの2 Ma以降の再活動によるリフティングに関係して形成された可能性があると考えられる。これは，沖縄トラフ中軸部から現在約90 kmの距離にある久米島が，沖縄トラフの活動の影響を受けている可能性を示すものでもある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり，株式会社アイエヌエー最高顧問の岡本隆一氏には終始，有益なご助言を頂いた。有孔虫化石は九州大学西 弘嗣助教授に鑑定をお願いした。また，琉球



第6図 石灰質碎屑岩脈から産出した有孔虫化石の生息期間と玄武岩の K-Ar 年代ならびに琉球石灰岩形成年代からみたネプチュニアンダイクの形成時期。有孔虫化石の層序は (Bolli and Saunders., 1985) に基づく。年代スケールは (Berggren et al., 1995a; 1995b) に基づく。

大学長井孝一助教授と山口大学宮田雄一郎助教授には現地で議論して頂いた。九州大学勘米良亀名名誉教授には，石灰岩の岩相に関して貴重なご教示を賜った。ここに記して，感謝の意を表します。

文 献

- Berggren, W. A., Hilgen, F. J., Langereis, C. G., Kent, D. V., Obradovich, J. D., Raffi, I., Raymo, M. E. and Shackleton, N. J., 1995a. Late Neogene chronology: New perspectives in high-resolution stratigraphy. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **107**: 1272-1287.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher III, C.C. and Aubry, M.-P., 1995b. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.* No. 54. 129-212.
- Bolli, H.M. and Saunders, J.B., 1985, Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera. In Bolli, H. M., Saunders, J.B. and Perch-Nielsen, K., eds., *Plankton stratigraphy*, Cambridge University Press, Cambridge, 155-262.
- Curewitz, D. and Karson, J.A., 1977, Structural settings of hydrothermal outflow, fracture permeability maintained by fault propagation and interaction. *Jour. Volcanol. Geothermal. Res.*, **79**, 149-168.
- 古川雅英, 1991, 琉球弧と沖縄トラフの発達史とくに沖縄トラフの形成年代について. *地学雑誌*, **100**, 552-564.
- 伊藤純一・白木敬一, 1999, 琉球列島久米島の鮮新統宇江城岳層からピクライト玄武岩の発見. *地質雑誌*, **105**, 810-813.
- 兼子尚知・伊藤 孝, 1995, 沖縄本島南部における琉球層群基底部の Sr 同位体組成. 日本地質学会第 102 年学術大会講演要旨, 116.
- 北川 宙・新城竜一, 2001, 中琉球弧久米島宇江城岳層の玄武岩質安山岩の全岩 K-Ar 年代. *岩石鉱物科学*, **30**, 237-240.
- 中川久夫・村上道雄, 1975, 沖縄群島久米島の地質. *東北大理地質学古生物学研究報告*, no75, 1-16.
- Smart, P. L., Palmer, R. J., Whitaker, F. and Wright, P., 1988, Neptunian dikes and fissure fills: an overview and account of some modern examples. In James, N. P. and Choquette, P. W., eds., *Paleokarst*, Springer-Verlag, New York, 149-163.