# 伊平屋島西部の2種類の緑色岩の産状と全岩化学組成: その噴出テクトニック場の考察

宇佐美 賢・宮城 宏之・我謝 昌一・宮城 直樹・新城 竜一

Two types of greenstones at the western part of Iheya-jima Island: Occurrence, petrography, whole-rock chemical compositions, and its implications for tectonic setting

Ken USAMI, Hiroyuki MIYAGI, Shoichi GAJA, Naoki MIYAGI, Ryuichi SHINJO

伊是名島・伊平屋島総合調査報告書、沖縄県立博物館・美術館 別刷 2019年3月15日

Reprinted from Survey Reports on Natural History, History and Culture of Izenajima and Iheyajima Islands, Okinawa Prefectural Museum and Art Museum

March, 2019

# 伊平屋島西部の2種類の緑色岩の産状と全岩化学組成: その噴出テクトニック場の考察

宇佐美賢<sup>1)</sup> 宮城宏之<sup>2)</sup> 我謝昌一<sup>3)</sup> 宮城直樹<sup>4)</sup> 新城竜一<sup>5)</sup>

Two types of greenstones at the western part of Iheya-jima Island: Occurrence, petrography, whole-rock chemical compositions, and its implications for tectonic setting

Ken USAMI, Hiroyuki MIYAGI, Shoichi GAJA, Naoki MIYAGI, Ryuichi SHINJO

## 1. はじめに

伊平屋島は、有人島としては沖縄県最北端の島で、 沖縄島の北西約30kmに位置する。伊平屋島はその 南の野甫島とともに伊平屋村を構成する(図1)。 伊平屋島の詳細な地質研究は、Ishibashi (1968) に始まり、木崎編(1985)、氏家(2000)、平識 (2004MS)、宮城ほか(2013)などによって行わ れてきた。Ishibashi (1968) は、はじめて島の地 質図をまとめ、古生界の伊平屋層、前岳層、中生界 の田名層、第四系の前泊層とそれぞれ命名した。伊 平屋層中の石灰岩塊からフズリナ化石を報告した。 緑色岩類は前岳層の一部に分布すると記載してい る。木崎編(1985)は、Ishibashi(1968)を基本 としたが、伊平屋層と前岳層のあいだには明瞭な構 造間隔は認められないとした。前岳層中の緑色岩類 下部について玄武岩質と報告している。氏家(2000) は、伊平屋島、伊是名島及び周辺離島の地質を地質 構造と放散虫化石から全域の地質を再考した。そし て伊平屋島の西海岸の一部に分布する緑色岩類につ いて、産状と構成鉱物、組織から、レータイト岩 脈と記載した。平識(2004MS)は、氏家(2000) がレータイト岩脈と記載した枕状の岩体中に含まれ る細粒の斜長石に注目し、長径・短径を枕の周縁部 から中心部にわたって計測・比較し、周縁部ほど細







図2 地質図及び本調査域木崎編(1985)に一部加筆

<sup>1) 〒 900-0006</sup> 沖縄県那覇市おもろまち 3-1-1 沖縄県立博物館・美術館

Okinawa Prefectural Museum & Art Museum, 3-1-1, Omoromachi, Naha, Okinawa, 900-0006 Japan

<sup>2)</sup> 元沖縄県立高等学校

<sup>3)</sup> 元沖縄県立高等学校

<sup>4)</sup>沖縄県立球陽高等学校

<sup>5)</sup> 琉球大学理学部物質地球科学科

粒でガラス質に富んだ急冷相であることから、枕状 溶岩と報告している。宮城ほか(2013)は沖縄島 および伊平屋島等の周辺離島の砂岩と緑色岩の全岩 化学組成を報告し、緑色岩類の原岩となった玄武岩 類は、海洋島や海嶺に起源をもつとした。

本研究は、沖縄県立博物館・美術館の博物館総合 調査事業(伊平屋島・伊是名島)地質分野によるも のである。本調査にあたり、伊平屋島、伊是名島の 両島を踏査、地質・地形、過去の文献、論文に報告 されている事象について確認及び標本を採取した。 特に緑色岩類について注目し、岩石薄片作製、偏光 顕微鏡観察、全岩化学組成分析を行った。

調査の結果、伊平屋島中部西海岸(腰岳西側海岸 と阿波岳西側海岸に分布する緑色岩類に新知見が得 られたので、本稿ではその点を中心に報告する。な お本研究の中間報告は、沖縄県立博物館・美術館の 博物館紀要(2018)に報告した。

本研究では、はじめに Ishibashi (1968)、木崎 編 (1985)、氏家 (2000)の地質図を参考に伊平 屋島全域の地質基礎調査を行った。その結果、伊平 屋島西海岸の腰岳西側海岸と阿波岳西側海岸で、肉 眼観察では砂岩に類似した緑色岩類の存在が明らか となった。腰岳の西側海岸の緑色岩類の一部は、前 述のとおり氏家 (2000)、平識 (2004MS)によっ て異なる岩石として記載されているが、本研究の野 外調査及び鏡下観察により、両研究によって記載さ れた岩体の分布はより複雑かつ広範囲に分布するこ とが明らかとなった。そこで本研究では、過去の研 究を踏まえつつ、緑色岩類全体の分布と産状、採取 試料の顕微鏡下における特徴及び全岩化学組成、緑 色岩の噴出場(テクトニック・セッティング)を明 らかにすることを目的とした。

#### 2. 地形と地質の概要

伊平屋島は北東端の田名岬から南端の米岬まで北 東から南西方向に約14km(最大幅約3km)の細長 く延びた形をしている。小さな島の中に標高200m 前後の山々が、島の形と並行した二列の山列をなし、 北側の山列は、北から久葉山、タンナ岳、後岳、ア サ岳、腰岳、南側の山列は前岳、賀陽山(294m: 最高峰)、阿波岳と連なる(図1)。典型的な高島で ある。低地は少なく特に北西海岸では、海岸近くか ら急峻な斜面となっている所が多い。そのため北か ら西側海岸の一部にかけて砂が風によって山の斜面 に吹き上げられている。僅かな低地は、島の南東側 を中心に山の周囲や山地との間に分布し、南東側の 低地は山地によって冬の季節風を遮ることができる ため、集落はここに位置する。島の南には砂嘴が形 成されており、その先端から橋で野甫島と結ばれて いる。

伊平屋島の地質は主として古生界の伊平屋層、前 岳層、中生界の田名層、第四系の前泊層からなる。 伊平屋層は北部のヤヘイ岩に分布し、砂岩・チャー ト・頁岩を主とし石灰岩のレンズをはさむ。前岳層 は層状チャートが卓越し、砂岩・礫岩・緑色岩と石 灰岩レンズをはさむ。田名層は島の中・南部に分布 し、砂岩頁岩互層を主として中・下部で砂岩が卓越 する。腰岳西側の海岸部には緑色岩類が分布する。 前泊層(段丘堆積物)は平野周辺の段丘部に分布す る砂礫層であり島の主要な帯水層である(木崎編, 1985:図2)。以上の地質と地形の特徴により、小 さな島の割に水が豊富で低地では稲作が行われてき た。

#### 3.緑色岩類の分布と産状

本研究対象の主な緑色岩類は、伊平屋島西部の腰 岳の西側海岸に分布する(図2)。緑色岩類の岩体 は赤黒色または暗緑色を帯びており、一部にチャー トまたは石灰岩を包有している(写真1)。暗緑色 の岩体は肉眼観察では砂岩と類似しており、混同す る可能性があるため、サンプルを採取し岩石薄片を 作製して鏡下観察を行った。その結果、本調査域の 岩体は過去の記載よりも広範囲に分布し腰岳西側海 岸を中心に島の伸長方向、約1kmの範囲に分布す ることが明らかとなった(図3)。同様の岩石の存 在を確かめるべく海岸部を中心に他地域でも調査を 行った。その結果、島の南側、阿波岳の西側(島尻 海岸)の一部にも同様の岩体を確認した(図2)。 その他の地域では、海岸部を除き植生の繁茂した山 地のため、現在のところ確認できていない。



図3 腰岳西側海岸の調査域及び緑色岩類の分布 図4に拡大図、ポイントは薄片作製試料採取地

本調査域の岩体の産状には、枕状、層状、塊状の 3つのタイプがある。枕状・層状の形状をもつ岩体 は海岸部に分布する。一方、塊状の岩体は海岸側で はなく山側に分布する。枕状岩体の枕の大きさは約 0.3 ~ 1mである。

緑色岩類の表面の色は次の3タイプに分類され る。Aタイプ:表面が赤みがかった赤黒色でその内 部は暗緑色となっているもの。Bタイプ:赤黒色部 と暗緑色部が複雑に入り交じったもの。Cタイプ: 場所によって赤黒色部と暗緑色部の両者が断層で切 られたようにはっきりと分かれたもの。当初、表面 の赤黒色部は風化によるものと思われた。一部は風 化によるものもあるが、BやCの産状は、風化によ るものではないと判断した。以下に各露頭の産状を 示す。



写真1 腰岳西側海岸の岩体に包有される石灰岩 (L: 白色部) とチャート(C: 赤色部)

(1)腰岳西側海岸(写真1~14)海側から暗緑色部、赤黒色部(写真2、3)さら

に道路を挟んで山側に暗緑色部(写真14)が分布 する(境界部の走向:N46°E)。海岸部の各部の境 界は連続して確認できないが、調査域のほぼ同一直 線上に点在しており、断層か貫入岩体(シル)と推 測される。

①調査域海岸部の中央部~北側岩体の産状



写真2 G:暗緑色部、R:赤黒色部



写真3 G:暗緑色部、R:赤黒色部、C:チャート

②枕状溶岩の産状(海岸部のみに分布、主として赤 黒色を帯びている。部分的に暗緑色と混在する。)



写真4 枕状岩体の断面



写真5 写真4の南側の側面部



写真6 枕の断面



写真7 枕の断面 急冷周縁部が認められる



写真8 枕の内部 急冷による節理が認められる



写真9 枕の表面

③調査域海岸部の南側岩体の産状



写真 10 赤黒色部 (R.) が暗緑色部 (G.) を覆っている。



写真 11 写真 8 の南側側面 R:赤黒色部、G:暗緑色部、B:黒色部、C:チャート

④調査域海岸部の北側岩体の産状



写真 12 層状(手前)と P: 枕状(奥)が接する。



写真13 赤黒色と暗緑色部が入り交じっている。

⑤調査域陸側の北側岩体の産状(③の陸側)



写真 14 暗緑色塊状の岩体(陸側に大規模に分布)

(2) **阿波岳西側海岸**(写真15~16)



写真 15 上部右側に枕状(P.)の断面の形状



写真16 写真15の枕状(P.)の拡大写真



図4 腰岳西側海岸の調査域及び緑色岩類の分布 (矢印のポイントは薄片作製試料採取地、走向はGとRの境界部で測定)

## 4 岩石記載

腰岳西側海岸に分布する緑色岩類について、約 50個のサンプル採取を行い、薄片を作製し鏡下観 察を行った。その結果、鏡下での特徴は、肉眼観察 での2つの特徴(①:肉眼で赤黒色、一部に枕状の 産状をもつタイプ。②:肉眼で暗緑色、一見、砂岩 と類似したタイプ)によって異なること、また一部、 緑泥石を生じているが、一般的な緑色岩類ほど変成 しておらず新鮮であり、原岩である火成岩(玄武岩 とレータイト)の構成鉱物と組織を残していること が明らかとなった。その他に隣接する岩体として砂 岩及びチャートの岩体を確認した。阿波岳西側海岸 では4個のサンプルを採取した。以下にチャートを 除く岩体の鏡下での特徴を示す。写真の左側は偏光 顕微鏡における開放ニコル、右側は直交ニコルによ る鏡下写真であり、視野の長辺は3mmである。

### (1) 腰岳西側海岸(伊平屋島西部)の岩体

 (1:肉眼で赤黒色、一部に枕状の産状をもつタイプ。試料番号:17091902-R 造岩鉱物:細粒0.5mm以下の針状の斜長石が多数、その間に極少量の変質したかんらん石、 細粒結晶の間を不透明鉱物とガラスが埋める。サンプルにより結晶の大きさに多少の差がある。 以上の特徴より玄武岩類と考えられる。





写真17

写真18

②:肉眼で暗緑色であり、野外では一見、砂岩と類似したタイプ。試料番号:17091905-G 造岩鉱物:0.5mm~1mmの短冊状のカリ長石が多数、その間に緑泥石、不透明鉱物と斜長石が埋める。 石基部分は少ない。以上の構成鉱物及び組織よりレータイトと考えられる。



写真19





(2) 腰岳西側海岸(伊平屋島西部)の砂岩 肉眼で暗緑色。試料番号:17091904-S 造岩鉱物:0.5mm~1mmの石英が多数、その間に斜長石、カリ長石、白雲母、緑泥石、岩片、重鉱 物として少量のジルコンが埋める。









#### (3) 阿波岳西側海岸(伊平屋島南西部)の火成岩体

①肉眼で赤黒色、一部に枕状の産状をもつタイプ。 試料番号:1712221-1SA-R 造岩鉱物:細粒0.3mm以下の針状の斜長石が多数、その間を不透明鉱物とガラスが埋める。 サンプルにより結晶の大きさに多少の差がある。以上の特徴より玄武岩類と考えられる。





写真23

写真25

写真24

②肉眼で暗緑色であり、野外では一見、砂岩と類似したタイプ。試料番号:1712221-1SB-G



写真26

阿波岳西側海岸では表面の色による鏡下での差異は見られず、両者ともに細粒の組織であった。

#### 5. 全岩化学組成の特徴

## (1)分析試料と採取地点

本調査域の緑色岩類(腰岳西側海岸から16個、 島尻海岸から2個)について、計18個を分析した。 分析試料の採取地点は、岩石薄片作製試料採取地と 同様、伊平屋島西部の腰岳西側海岸及び阿波岳西側 海岸の一部である(図6)。

## (2)分析方法

各露頭から、新鮮な岩石を選び、粗砕き後、超純 水で煮沸し、試料中の塩化物イオンを除去した。そ の後、高速スタンプミルを用いて粉末にした。融 剤(Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>)と岩石粉末が1:5となるように混合 し、東京科学(株)製ビードサンプラー(TK-4200 型)を用いてガラスビードを作製した。また、微量 元素分析用に粉末加圧ペレットも作製した。測定 には琉球大学研究基盤センターの蛍光X線分析装 置(XRF:リガク(株)製ZSX Primus II)を使用 した。分析方法は基本的に新城・宮本(2007)に 従った。さらに、微量元素については ICP-MS法に よる分析も行った。サンプル粉末0.10gをフッ酸+ 硝酸+過塩素酸の混酸で酸分解し、蒸発乾固後、最 終的には4000倍に希釈して0.3M硝酸溶液として 測定に供した。琉球大学理学部に設置されている サーモフィッシャー・サイエンティフィック(株) のX-series 2 ICP質量分析計を用いて分析を行った。 サンプルと同様に処理した、米国地質調査所の標準 岩石(BHVO-2玄武岩)とブランク溶液で検量線を 作製した。 マトリックス効果と装置のドリフトの補正のため に、内標準として<sup>115</sup>Inを用いた。正確度の評価には、 日本地質調査所の標準岩石 JB-1と JA-1を用いた。 ほとんどの元素は±10%以内で推奨値と一致した。

本稿では3つの分析方法のうち最も精度の良い ICP-MS法による分析結果のみを示す。

#### (3)分析結果

全岩化学組成の分析結果を表1と表2に示す。 全分析試料は、SiO<sub>2</sub>が49~54%(表1)と59~ 64%(表2)の2つのグループに分類される。

SiO<sub>2</sub>-全アルカリ(TAS)図(図5)によると、 前者はTrachybasalt(粗面玄武岩)~Basaltic trachyandesite(玄武岩質粗面安山岩)、後者は Trachyte(粗面岩)の領域にプロットされる。両者 ともアルカリに富み、アルカリ岩と非アルカリ岩系 列の境界線(Irvine and Barragar.1971)より上に プロットされることから、アルカリ岩系列の岩石で ある。岩石は変質のためにアルカリ元素が多少移動 している可能性を考える必要があるが、鏡下観察で は石基の斜長石などは新鮮であり、全岩分析の灼熱 減量 (LOI) も<6wt%と小さいことから、変質の程 度は大きくないと判断される。したがって、アルカ リ岩系列の特徴は初生的なものだと考えられる。以 下、前者を玄武岩類、後者を粗面岩として記述する。



岩型の境界線は Le Maitre et al. (1989)、アルカリ岩と非アルカリ岩系列の境界は Irvine and Barragar (1971) による。





Hzky     Hzky     Hzky       HzHame     I-04-R     I-10-R     I-13R     I-15A-R     I-16B-R     I-16B-R     I-17-R       SIO,     51.74     49.13     54.04     53.35     53.27     49.69     52.74     51.49       ALO,     16.39     15.53     16.83     18.56     15.43     16.14     15.83     16.95       Fe,O,     17.16     19.00     13.90     12.92     12.73     14.35     14.80     13.98       MnO     0.26     0.27     0.14     0.18     0.18     0.34     0.28     0.28       MgO     2.59     3.04     1.74     2.05     5.05     4.96     6.33     1.87     2.84       KaO     1.80     1.09     1.54     1.31     1.18     0.55     1.45     1.56       PAO     2.28     0.31     0.26     0.21     0.26     0.18     0.24       Total     99.55     99.87     99.61     99.89     99.73     99.91     99.85     9		阿波岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側
試料器号     FSA-R     H04-R     H10-R     H13R     H15A-R     H15B-R     H16B-R     H17-R       wt%     -	形状	枕状	枕状						
wt.% SiQ <sub>5</sub> 51.74 49.13 54.04 53.35 53.27 49.69 52.74 51.49 TrO <sub>7</sub> 2.71 1.97 2.34 2.51 2.02 1.94 2.05 1.99 Al,O, 16.39 15.53 16.83 18.56 15.43 16.14 15.83 16.95 Fe <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 17.16 19.00 13.90 12.92 12.73 14.35 14.80 0.28 0.28 MgO 2.59 3.04 1.74 2.05 5.05 4.96 6.39 5.64 CaO 2.36 4.89 3.38 3.75 4.06 6.33 1.87 2.84 Na <sub>2</sub> O 4.11 4.70 540 5.02 5.61 5.34 4.27 4.82 K <sub>2</sub> O 1.80 1.09 1.54 1.31 1.18 0.55 1.45 1.56 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0.42 0.25 0.31 0.26 0.21 0.26 0.18 0.24 Total 99.55 99.87 99.61 99.89 99.73 99.91 99.85 99.79 LOI 3.66 2.38 2.63 2.63 3.90 1.34 5.82 6.43 Cr 134 295 253 180 161 176 180 183 Cr 134 295 253 180 161 176 180 183 Co 46 41 29 42 40 50 39 32 Ni 70 126 129 91 70 77 78 2 66 Rb 45.4 29 43.1 35.1 2.66 14.5 39.7 45.1 Sr 255 257 2.88 2.76 320 2.28 189 349 Y 72 55 2.44 50 47 52 Zr 140 110 107 129 114 106 123 119 Nb 6.41 4.08 5.30 5.53 3.92 3.66 4.07 3.90 Cs 1.05 1.12 1.67 136 0.7 0.55 1.44 1.22 Zr 140 110 107 129 114 106 123 119 Nb 6.41 4.08 5.30 5.53 3.92 3.66 4.07 3.90 Cs 1.05 1.12 1.67 136 0.7 0.55 1.44 1.22 Ea 406 390 230 208 225 48 68 159 La 7.69 6.44 7.13 5.6 4.98 7.85 5.26 6.22 Ce 18.88 13.47 17 15.07 13.07 16.41 12.15 1.475 Pr 3.39 2.69 3.08 2.72 2.39 2.84 89 349 Y 72 52 75 52 44 50 4.97 32.2 Ce 18.88 13.47 17 15.07 13.26 1.477 11.9 14.48 Srm 5.93 4.82 5.67 5.05 4.26 4.87 4.07 4.90 La 7.69 6.44 7.13 5.6 4.98 7.85 5.26 6.22 Ce 18.88 13.47 17 15.07 13.07 16.41 12.15 1.475 Pr 3.39 2.69 3.08 2.72 2.39 2.84 2.23 2.68 Nd 17.82 14.21 16.64 14.55 1.268 14.77 11.9 14.48 Srm 5.93 4.82 5.67 5.05 4.26 4.87 4.07 4.90 La 7.69 6.44 7.13 5.6 7.90 6.43 6.11 5.29 6.21 Ho 1.46 1.15 1.49 1.23 1.05 1.16 1.02 1.19 Dy 1.063 8.066 0.72 0.73 0.77 Yb 6.31 4.59 5.84 4.82 3.98 4.36 4.54 4.60 Lu 0.97 0.68 0.85 0.72 0.59 0.66 6.072 0.73 0.77 Yb 6.31 4.59 5.84 4.82 3.98 4.36 4.54 4.60 Lu 0.97 0.68 0.85 0.72 0.59 0.66 0.60 7.7 NF 4.044 2.93 3.10 3.68 3.08 2.81 3.03 2.89 Ta 0.39 0.24 0.32 0.44	試料番号	I-SA-R	I-04-R	I-10-R	I-13R	I-15A-R	I-15B-R	I-16B-R	I-17-R
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	wt.%								
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	SiO <sub>2</sub>	51.74	49.13	54.04	53.35	53.27	49.69	52.74	51.49
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	TiO <sub>2</sub>	2.71	1.97	2.34	2.51	2.02	1.94	2.05	1.99
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$AI_2O_3$	16.39	15.53	16.83	18.56	15.43	16.14	15.83	16.95
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.16	19.00	13.90	12.92	12.73	14.35	14.80	13.98
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	MnO	0.26	0.27	0.14	0.18	0.18	0.34	0.28	0.28
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	MgO	2.59	3.04	1.74	2.05	5.05	4.96	6.39	5.64
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	CaO	2.36	4.89	3.38	3.75	4.06	6.33	1.87	2.84
K,O1.801.091.541.311.180.551.451.56P,O_50.420.250.310.260.210.260.180.24Total99.5599.8799.6199.8999.7399.9199.8599.79LOI3.662.382.632.633.901.345.826.43ppm	Na <sub>2</sub> O	4.11	4.70	5.40	5.02	5.61	5.34	4.27	4.82
P.O. Total     0.42 99.55     0.25 99.87     0.31 99.61     0.26 99.89     0.21 99.73     0.26 99.91     0.18 99.85     0.24 99.79       LOI     3.66     2.38     2.63     2.63     3.90     1.34     5.82     6.43       ppm	K <sub>2</sub> O	1.80	1.09	1.54	1.31	1.18	0.55	1.45	1.56
Total     99.55     99.87     99.61     99.89     99.73     99.91     99.85     99.79       LOI     3.66     2.38     2.63     2.63     3.90     1.34     5.82     6.43       ppm	$P_2O_5$	0.42	0.25	0.31	0.26	0.21	0.26	0.18	0.24
LOI   3.66   2.38   2.63   2.63   3.90   1.34   5.82   6.43     ppm	Total	99.55	99.87	99.61	99.89	99.73	99.91	99.85	99.79
LOI     3.66     2.38     2.63     2.63     3.90     1.34     5.82     6.43       ppm     5c     54.9     51.2     50.2     45.7     53.4     50.9     61.3     55.6       V     447     417     330     356     354     407     324     343       Cr     134     295     253     180     161     176     180     183       Co     46     41     29     42     40     50     39     32       Ni     70     126     129     91     70     77     82     66       Rb     45.4     29     43.1     35.1     26.6     14.5     39.7     45.1       Sr     255     257     288     276     320     228     189     349       Y     72     52     75     52     44     50     47     52       Zr     140     110     107     129     114     106	lotar	22.00	22.07	55.01	55.05	<i></i>	55.51	22100	
ppm     Sc     54.9     51.2     50.2     45.7     53.4     50.9     61.3     55.6       V     447     417     330     356     354     407     324     343       Cr     134     295     253     180     161     176     180     183       Co     46     41     29     42     40     50     39     32       Ni     70     126     129     91     70     77     82     66       Rb     45.4     29     43.1     35.1     26.6     145     39.7     45.1       Sr     255     257     288     276     320     228     189     349       Y     72     52     75     52     44     50     47     52       Zr     140     110     107     129     114     106     123     119       Nb     6.41     4.08     5.30     5.53     3.92     3.66 <t< td=""><td>LOI</td><td>3.66</td><td>2.38</td><td>2.63</td><td>2.63</td><td>3.90</td><td>1.34</td><td>5.82</td><td>6.43</td></t<>	LOI	3.66	2.38	2.63	2.63	3.90	1.34	5.82	6.43
Sc     54.9     51.2     50.2     45.7     53.4     50.9     61.3     55.6       V     447     417     330     356     354     407     324     343       Cr     134     295     253     180     161     176     180     183       Co     46     41     29     42     40     50     39     32       Ni     70     126     129     91     70     77     82     66       Rb     45.4     29     43.1     35.1     26.6     14.5     39.7     45.1       Sr     255     257     288     276     320     228     189     349       Y     72     52     75     52     44     50     47     52       Zr     140     110     107     129     114     106     123     119       Nb     6.41     4.08     5.30     5.53     3.92     3.66     4.07	ppm								
V     447     417     330     356     354     407     324     343       Cr     134     295     253     180     161     176     180     183       Co     46     41     29     42     40     50     39     32       Ni     70     126     129     91     70     77     82     66       Rb     45.4     29     43.1     35.1     26.6     14.5     39.7     45.1       Sr     255     257     28     276     320     228     189     349       Y     72     52     75     52     44     50     47     52       Zr     140     110     107     129     114     106     123     119       Nb     6.41     4.08     5.30     5.53     3.92     3.66     4.07     3.90       Cs     1.05     1.12     1.67     1.36     0.7     0.55     6.422     <	Sc	54.9	51.2	50.2	45.7	53.4	50.9	61.3	55.6
Cr   134   295   253   180   161   176   180   183     Co   46   41   29   42   40   50   39   32     Ni   70   126   129   91   70   77   82   66     Rb   45.4   29   43.1   35.1   266   14.5   39.7   45.1     Sr   255   257   288   276   320   228   189   349     Y   72   52   75   52   44   50   47   52     Zr   140   110   107   129   114   106   123   119     Nb   6.41   4.08   5.30   5.53   3.92   3.66   4.07   3.90     Cs   1.05   1.12   1.67   1.36   0.7   0.55   1.44   1.22     Ba   406   390   230   208   225   48   68   159     La   7.69   6.44   7.13   5.67   4.98   7.85	V	447	417	330	356	354	407	324	343
Co     46     41     29     42     40     50     39     32       Ni     70     126     129     91     70     77     82     66       Rb     45.4     29     43.1     35.1     26.6     14.5     39.7     45.1       Sr     255     257     288     276     320     228     189     349       Y     72     52     75     52     44     50     47     52       Zr     140     110     107     129     114     106     123     119       Nb     6.41     4.08     5.30     5.53     3.92     3.66     4.07     3.90       Cs     1.05     1.12     1.67     1.36     0.7     0.55     1.44     1.22       Ba     406     390     230     208     225     48     68     159       La     7.69     6.44     7.13     5.6     4.98     7.85     5.26	Cr	134	295	253	180	161	176	180	183
Ni     70     126     129     91     70     77     82     66       Rb     45.4     29     43.1     35.1     26.6     14.5     39.7     45.1       Sr     255     257     288     276     320     228     189     349       Y     72     52     75     52     44     50     47     52       Zr     140     110     107     129     114     106     123     119       Nb     6.41     4.08     5.30     5.53     3.92     3.66     4.07     3.90       Cs     1.05     1.12     1.67     1.36     0.7     0.55     1.44     1.22       Ba     406     390     2.08     2.25     48     68     159       La     7.69     6.44     7.13     5.67     4.98     7.85     5.26     6.22       Ce     18.88     13.47     17     15.07     13.07     16.41     12.15	Со	46	41	29	42	40	50	39	32
Rb   45.4   29   43.1   35.1   26.6   14.5   39.7   45.1     Sr   255   257   288   276   320   228   189   349     Y   72   52   75   52   44   50   47   52     Zr   140   110   107   129   114   106   123   119     Nb   6.41   4.08   5.30   5.53   3.92   3.66   4.07   3.90     Cs   1.05   1.12   1.67   1.36   0.7   0.55   1.44   1.22     Ba   406   390   230   208   225   48   68   159     La   7.69   6.44   7.13   5.6   4.98   7.85   5.26   6.22     Ce   18.88   13.47   17   15.07   13.07   16.41   12.15   14.75     Pr   3.39   2.69   3.08   2.72   2.39   2.84   2.23   2.68     Nd   17.82   14.21   16.64   14.55<	Ni	70	126	129	91	70	77	82	66
Sr255257288276320228189349Y7252755244504752Zr140110107129114106123119Nb6.414.085.305.533.923.664.073.90Cs1.051.121.671.360.70.551.441.22Ba4063902302082254868159La7.696.447.135.64.987.855.266.22Ce18.8813.471715.0713.0716.4112.1514.75Pr3.392.693.082.722.392.842.232.68Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.	Rb	45.4	29	43.1	35.1	26.6	14.5	39.7	45.1
Y7252755244504752Zr140110107129114106123119Nb6.414.085.305.533.923.664.073.90Cs1.051.121.671.360.70.551.441.22Ba4063902302082254868159La7.696.447.135.64.987.855.266.22Ce18.8813.471715.0713.0716.4112.1514.75Pr3.392.693.082.722.392.842.232.68Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.66	Sr	255	257	288	276	320	228	189	349
Zr140110107129114106123119Nb6.414.085.305.533.923.664.073.90Cs1.051.121.671.360.70.551.441.22Ba4063902302082254868159La7.696.447.135.64.987.855.266.22Ce18.8813.471715.0713.0716.4112.1514.75Pr3.392.693.082.722.392.842.232.68Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.82<	Y	72	52	75	52	44	50	47	52
Nb     6.41     4.08     5.30     5.53     3.92     3.66     4.07     3.90       Cs     1.05     1.12     1.67     1.36     0.7     0.55     1.44     1.22       Ba     406     390     230     208     225     48     68     159       La     7.69     6.44     7.13     5.6     4.98     7.85     5.26     6.22       Ce     18.88     13.47     17     15.07     13.07     16.41     12.15     14.75       Pr     3.39     2.69     3.08     2.72     2.39     2.84     2.23     2.68       Nd     17.82     14.21     16.64     14.55     12.68     14.77     11.9     14.48       Sm     5.93     4.82     5.67     5.05     4.26     4.87     4.07     4.90       Eu     2.12     1.76     2.07     1.77     1.51     1.71     1.49     1.72       Gd     7.72     6.04     7.80     6.	Zr	140	110	107	129	114	106	123	119
Cs1.051.121.671.360.70.551.441.22Ba4063902302082254868159La7.696.447.135.64.987.855.266.22Ce18.8813.471715.0713.0716.4112.1514.75Pr3.392.693.082.722.392.842.232.68Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.10 <t< td=""><td>Nb</td><td>6.41</td><td>4.08</td><td>5.30</td><td>5.53</td><td>3.92</td><td>3.66</td><td>4.07</td><td>3.90</td></t<>	Nb	6.41	4.08	5.30	5.53	3.92	3.66	4.07	3.90
Ba4063902302082254868159La7.696.447.135.64.987.855.266.22Ce18.8813.471715.0713.0716.4112.1514.75Pr3.392.693.082.722.392.842.232.68Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.103.683.082.813.032.89Ta0.390.240.32<	Cs	1.05	1.12	1.67	1.36	0.7	0.55	1.44	1.22
La7.696.447.135.64.987.855.266.22Ce18.8813.471715.0713.0716.4112.1514.75Pr3.392.693.082.722.392.842.232.68Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.103.683.082.813.032.89Ta0.390.240.320.340.250.230.250.24	Ва	406	390	230	208	225	48	68	159
Ce18.8813.471715.0713.0716.4112.1514.75Pr3.392.693.082.722.392.842.232.68Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.103.683.082.813.032.89Ta0.390.240.320.340.250.230.250.24	La	7.69	6.44	7.13	5.6	4.98	7.85	5.26	6.22
Pr3.392.693.082.722.392.842.232.68Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.103.683.082.813.032.89Ta0.390.240.320.340.250.230.250.24	Ce	18.88	13.47	17	15.07	13.07	16.41	12.15	14.75
Nd17.8214.2116.6414.5512.6814.7711.914.48Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.103.683.082.813.032.89Ta0.390.240.320.340.250.230.250.24	Pr	3.39	2.69	3.08	2.72	2.39	2.84	2.23	2.68
Sm5.934.825.675.054.264.874.074.90Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.103.683.082.813.032.89Ta0.390.240.320.340.250.230.250.24	Nd	17.82	14.21	16.64	14.55	12.68	14.77	11.9	14.48
Eu2.121.762.071.771.511.711.491.72Gd7.726.047.806.305.436.115.296.21Tb1.461.151.491.231.051.161.021.19Dy10.238.0410.558.527.187.937.208.22Ho2.321.762.41.861.551.731.611.81Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.103.683.082.813.032.89Ta0.390.240.320.340.250.230.250.24	Sm	5.93	4.82	5.67	5.05	4.26	4.87	4.07	4.90
Gd   7.72   6.04   7.80   6.30   5.43   6.11   5.29   6.21     Tb   1.46   1.15   1.49   1.23   1.05   1.16   1.02   1.19     Dy   10.23   8.04   10.55   8.52   7.18   7.93   7.20   8.22     Ho   2.32   1.76   2.4   1.86   1.55   1.73   1.61   1.81     Er   6.91   5.17   7.11   5.54   4.54   5.00   4.8   5.33     Tm   1.02   0.76   1.00   0.8   0.66   0.72   0.73   0.77     Yb   6.31   4.59   5.84   4.82   3.98   4.36   4.54   4.60     Lu   0.97   0.68   0.85   0.72   0.59   0.66   0.69   0.7     Hf   4.04   2.93   3.10   3.68   3.08   2.81   3.03   2.89     Ta   0.39   0.24   0.32   0.34   0.25   0.23   0.25   0.24	Eu	2.12	1.76	2.07	1.77	1.51	1.71	1.49	1.72
Tb   1.46   1.15   1.49   1.23   1.05   1.16   1.02   1.19     Dy   10.23   8.04   10.55   8.52   7.18   7.93   7.20   8.22     Ho   2.32   1.76   2.4   1.86   1.55   1.73   1.61   1.81     Er   6.91   5.17   7.11   5.54   4.54   5.00   4.8   5.33     Tm   1.02   0.76   1.00   0.8   0.66   0.72   0.73   0.77     Yb   6.31   4.59   5.84   4.82   3.98   4.36   4.54   4.60     Lu   0.97   0.68   0.85   0.72   0.59   0.66   0.69   0.7     Hf   4.04   2.93   3.10   3.68   3.08   2.81   3.03   2.89     Ta   0.39   0.24   0.32   0.34   0.25   0.23   0.25   0.24	Gd	7.72	6.04	7.80	6.30	5.43	6.11	5.29	6.21
Dy   10.23   8.04   10.55   8.52   7.18   7.93   7.20   8.22     Ho   2.32   1.76   2.4   1.86   1.55   1.73   1.61   1.81     Er   6.91   5.17   7.11   5.54   4.54   5.00   4.8   5.33     Tm   1.02   0.76   1.00   0.8   0.66   0.72   0.73   0.77     Yb   6.31   4.59   5.84   4.82   3.98   4.36   4.54   4.60     Lu   0.97   0.68   0.85   0.72   0.59   0.66   0.69   0.7     Hf   4.04   2.93   3.10   3.68   3.08   2.81   3.03   2.89     Ta   0.39   0.24   0.32   0.34   0.25   0.23   0.25   0.24	Tb	1.46	1.15	1.49	1.23	1.05	1.16	1.02	1.19
Ho   2.32   1.76   2.4   1.86   1.55   1.73   1.61   1.81     Er   6.91   5.17   7.11   5.54   4.54   5.00   4.8   5.33     Tm   1.02   0.76   1.00   0.8   0.66   0.72   0.73   0.77     Yb   6.31   4.59   5.84   4.82   3.98   4.36   4.54   4.60     Lu   0.97   0.68   0.85   0.72   0.59   0.66   0.69   0.7     Hf   4.04   2.93   3.10   3.68   3.08   2.81   3.03   2.89     Ta   0.39   0.24   0.32   0.34   0.25   0.23   0.25   0.24     Ph   0.60   0.42   0.65   0.73   0.44   1.35   1.48   1.50	Dv	10.23	8.04	10.55	8.52	7.18	7.93	7.20	8.22
Er6.915.177.115.544.545.004.85.33Tm1.020.761.000.80.660.720.730.77Yb6.314.595.844.823.984.364.544.60Lu0.970.680.850.720.590.660.690.7Hf4.042.933.103.683.082.813.032.89Ta0.390.240.320.340.250.230.250.24Pho0.690.420.650.730.441.351.481.50	Но	2.32	1.76	2.4	1.86	1.55	1.73	1.61	1.81
Tm   1.02   0.76   1.00   0.8   0.66   0.72   0.73   0.77     Yb   6.31   4.59   5.84   4.82   3.98   4.36   4.54   4.60     Lu   0.97   0.68   0.85   0.72   0.59   0.66   0.69   0.7     Hf   4.04   2.93   3.10   3.68   3.08   2.81   3.03   2.89     Ta   0.39   0.24   0.32   0.34   0.25   0.23   0.25   0.24     Ph   0.60   0.42   0.65   0.73   0.44   1.35   1.48   1.50	Er	6.91	5.17	7.11	5.54	4.54	5.00	4.8	5.33
Yb   6.31   4.59   5.84   4.82   3.98   4.36   4.54   4.60     Lu   0.97   0.68   0.85   0.72   0.59   0.66   0.69   0.7     Hf   4.04   2.93   3.10   3.68   3.08   2.81   3.03   2.89     Ta   0.39   0.24   0.32   0.34   0.25   0.23   0.25   0.24     Ph   0.60   0.43   0.65   0.73   0.44   1.35   1.48   1.50	Tm	1.02	0.76	1.00	0.8	0.66	0.72	0.73	0.77
Lu   0.97   0.68   0.85   0.72   0.59   0.66   0.69   0.7     Hf   4.04   2.93   3.10   3.68   3.08   2.81   3.03   2.89     Ta   0.39   0.24   0.32   0.34   0.25   0.23   0.25   0.24     Ph   0.60   0.42   0.65   0.73   0.44   1.35   1.48   1.50	Yb	6.31	4.59	5.84	4.82	3.98	4.36	4.54	4.60
Hf   4.04   2.93   3.10   3.68   3.08   2.81   3.03   2.89     Ta   0.39   0.24   0.32   0.34   0.25   0.23   0.25   0.24     Ph   0.60   0.43   0.65   0.73   0.44   1.35   1.48   1.50	lu	0.97	0.68	0.85	0.72	0.59	0.66	0.69	0.7
Ta 0.39 0.24 0.32 0.34 0.25 0.23 0.25 0.24   Ph 0.60 0.43 0.65 0.73 0.44 1.35 1.48 1.50	-∽ Hf	4.04	2 93	3.10	3.68	3.08	2.81	3.03	2.89
Db 0.60 0.42 0.65 0.72 0.44 1.25 1.49 1.50	Та	0.39	0.24	0.32	0.34	0.25	0.23	0.25	0.24
$\Gamma(1)$ $U(1)^{2}$ $U(2)$ $U(1)^{2}$ $U(2)^{2}$ $U(2)^{2}$ $U(2)^{2}$ $U(2)^{2}$	Ph	0.69	0.43	0.65	0.73	0.44	1 35	1 48	1 59
Th 0.41 0.25 0.33 0.35 0.26 0.23 0.26 0.24	Th	0.41	0.15	0.33	0.35	0.26	0.23	0.26	0.24
U 0.45 0.44 0.47 0.38 0.55 0.46 0.65 0.53	U	0.45	0.44	0.47	0.38	0.55	0.46	0.65	0.53

表1 全岩化学組成 伊平屋島緑色岩類 (玄武岩類)

表2	全岩化学組成	伊平屋島緑色岩類	(粗面岩)

	阿波岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側	腰岳西側
	I-SB-G	I-07-G	I-08-G	I-11-G	I-12-G	I-14-G	I-15C-G	I-16A-G
wt.%								
SiO <sub>2</sub>	60.54	60.52	59.27	59.13	59.99	63.89	61.35	60.05
TiO	0.60	0.91	1.02	0.94	0.97	0.84	0.98	0.96
Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	18.39	18.34	19.01	18.36	18.34	17.28	19.02	18.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	671	5 49	5.06	5 52	5 30	4 88	3 76	5 1 5
MnO	0.15	0.15	0.06	0.21	0.07	0.22	0.10	0.15
ΜαΟ	1 09	1 29	1.05	0.82	0.94	1.04	0.90	1 36
CaO	0.44	1.25	1.05	2 32	1 41	0.61	0.75	1.30
Na.O	6.22	3 70	4.67	2.52 4.78	4.85	6.47	4 56	6.29
	1.01	7.04	07 6.81	7.05	4.0J	3.05	7.10	0.29 1 01
	4.94	7.04	0.01	7.05	0.52	0.27	0.41	4.91
P <sub>2</sub> U <sub>5</sub>	0.27	0.57	0.45	0.00	0.42	0.57	0.41	0.40
lotal	99.35	99.06	98.77	99.02	98.80	98.60	98.93	99.12
LOI	2.04	0.76	0.94	0.61	2.16	1.12	0.71	1.04
ppm								
Sc	10.4	10.1	9.6	10.4	10.2	9.9	10	9.7
V	32	27	17	10	23	54	26	11
Cr	91	73	91	78	105	112	91	86
Со	3	2	2	1	7	3	3	1
Ni	54	40	49	34	65	60	51	30
Rb	57.9	139.8	160.5	106.9	139.4	52	130.1	43.5
Sr	163	334	477	638	500	288	447	271
Y	45	26	28	31	24	24	27	35
∸ 7r	663	330	339	360	388	297	402	323
Nb	168.0	89 5	88.2	97.9	94 1	79.6	101 3	85.3
(s	0.18	2 54	2 46	1.65	4 05	1 21	1 49	0.53
Ba	265	739	541	816	522	461	617	457
ا م ا م	1205	80.1	70.6	010	78.8	01 0	73 7	437 67 /
Co	242	153	1/12	168	1/6	163	1/7	127
Dr	242	107	140	20.4	140	16.5	147	16.5
ri Nd	29.7	64.0	70.0	20.4	10.0 60 E	10.J	10.Z	61.4
nu Sm	100.0	10.2	11.6	11.5	11.2	0.1	11.7	105
	13.0	10.5	11.0	11.5		9.1 2.47	11./	2 00
Cul	2.9	5.75	4.40	4.Z	4.40	5.47	4.45	5.90
Ga	10.03	10.08	1 20	11.42	10.72	9.7	1.20	9.96
dl	1.82	1.18	1.29	1.32	1.22	1.09	1.30	1.24
Dy	8.95	5.55	5.99	6.31	5.51	5.09	6.08	6.2
Ho	1.65	1.00	1.04	1.13	0.96	0.87	1.06	1.14
<u>Er</u>	4.38	2.57	2.5	2.93	2.37	2.08	2.6	2.98
Tm	0.62	0.35	0.33	0.4	0.33	0.27	0.35	0.41
Yb	4.02	2.22	2.05	2.51	2.11	1.7	2.17	2.47
Lu	0.56	0.30	0.27	0.35	0.28	0.22	0.28	0.34
Hf	16.25	8.20	8.39	8.76	9.04	6.93	8.98	7.65
<u>Ta</u>	8.86	4.74	4.73	5.04	5.01	3.94	5.09	4.51
Pb	15.29	8.03	7.45	8.15	10.77	10.32	7.85	10.24
Th	15.56	7.44	7.64	7.87	7.96	6.41	7.93	7.27
U	1.09	0.76	0.71	2.47	0.75	0.62	1.48	4.11

図7の地球化学的判別図(Nb/La vs. La/Ybおよび Th/Nb vs. La/Yb) によると、玄武岩類は中央海 嶺玄武岩(MORB)の領域にプロットされ、粗面 岩のグループは1 試料を除き全てが海洋島玄武岩 (OIB)の領域にプロットされた。Ti-Zr-Y判別図(図 8a)、2Nb-Zr/4-Y判別図(図8b)においても、玄 武岩類は中央海嶺玄武岩(MORB)に分類され、粗 面岩のタイプは、プレート内アルカリ玄武岩(WPA) に分類された。Ti-Zr-Y図において、粗面岩タイプ はTiに乏しい部分にプロットされる。これは後述 するようにTiに富む鉱物の分別によるものと推察 される。



図 7 Nb/La、Th/Nb、La/Ybを用いた地球化学的判別図(全分析試料をプロット) 境界線は Hollocher et al. (2012) による。



図8 (a) Ti-Zr-Y判別図、(b)2Nb-Zr/4-Y判別図(全分析試料をプロット) (a)境界線は Pearce and Cann(1973)による。(b)境界線は Meschede(1986)による。 CAB. calc-alkali basalts; VAB. Volcanic-arc basalts; WPB.within-plate basalts; WPA. within-plate alkali basalts; WPT. within-plate tholeites

全分析試料の微量元素を始源マントル(Sun and McDonough, 1989)で規格化した微量元素パター ンを図9に示す。比較のため代表的なテクトニック・ セッティングの岩石(N-MORB、E-MORB、OIB) のパターンも示した。パターンに用いた微量元素 は、変質・変成作用により移動しにくいと考えられ ている Th、Zr、Nbなどの High Field Strengh(HFS) 元素および希土類元素(REE)である。 本調査域の緑色岩類のうち、玄武岩類は左下がり のパターンを示し、中央海嶺玄武岩(N-MORB)の パターンに類似する。一方、粗面岩は、左上がりの パターンを示し、海洋島玄武岩(OIB)のパターン に類似する。しかし OIBに比較して全体的に元素濃 度が高く、顕著な Ti の負異常が認められる。



図9 微量元素パターン図.規格化した値は Sun and McDonough (1989) による。

## 6. 考察

## (1)産状・組織・構成鉱物・全岩化学組成及び過 去の記載との関係

本調査域には、産状、組織、構成鉱物、全岩化学 組成の異なる2つの緑色岩類が広範囲に存在する。 それらは氏家 (2000) と平識(2004MS)がそれぞ れ記載した岩体(レータイト岩脈と枕状溶岩)と一 部重なる。

平識(2004MS)は枕状の岩体に枕状溶岩特有の 組織をもつことを明らかにした。本研究における海 岸部の赤黒色部の枕状の岩体に見られた産状(写 真4~9)と細粒の組織(写真17、18)は、平識 (2004MS)が記載した岩体と同様のものである。

一方、氏家(2000)は、本調査域の枕状の産状 を層状チャート中に貫入した際にブロック化しその 後の風化によるものとし、また枕状溶岩特有の組織 は見られないとしてレータイト岩脈と記載した。赤 黒色の枕状の岩体と接する暗緑色の岩体(写真10 ~13)と内陸側の暗緑色の岩体(写真14)は、枕 状溶岩特有の組織は見られず、その組織及び構成鉱物(写真19、20)から氏家(2000)が記載したレータイトに相当すると考えられる。

さらに野外での産状の記載、顕微鏡下における薄 片観察による岩石記載に加え、それらに基づき選抜 した代表的な試料の全岩化学組成分析を行った。そ の結果(表1、表2)、化学組成的にも本調査域には、 2種類の緑色岩類が分布することが明らかとなっ た。2種類の緑色岩類は、TASダイアグラム(図6) による分類では、玄武岩類(trachybasalt - basaltic trachyandesite)と粗面岩(trachyte)に分類される。 いずれもアルカリに富み、アルカリ岩系列に属する。

全岩分析結果による微量元素の地球化学的判別図 (図7・8)や微量元素パターン(図9)によると、 玄武岩類は、通常の中央海嶺玄武岩(N-MORB)に 類似した岩石であることが明らかとなった。一方、 粗面岩タイプは、海洋島玄武岩(OIB)に類似した 岩石であることが明らかとなった。この結果は、両 者が全く異なるマグマ起源であることを示唆する。

以上をまとめると、野外において、みかけの色が

赤黒色を帯び一部に枕状溶岩の形態をもつ緑色岩 類(顕微鏡下で玄武岩類として記載した岩石:平敷 (2004MS)が枕状溶岩として記載)は、中央海嶺玄 武岩(N-MORB)に類似したマグマ起源の岩石(玄 武岩類)を原岩としており、一方、野外において緑 黒色を帯びた緑色岩類(顕微鏡下でレータイトとし て記載した岩石)は、海洋島玄武岩(OIB)に類似 したマグマ起源の岩石(粗面岩)を原岩としている。

氏家(2000)と平識(2004MS)によって、こ れまで同一岩体に対し組成の異なる2つの岩石が記 載されていた。しかし実際は前述のように、本調査 域には産状、組織、鉱物組成、全岩化学組成の異な る2種類の緑色岩類が、大変狭い範囲内で接して存 在していることが判明した。

## (2) 産状と全岩化学組成からみた緑色岩類の形成 場

本調査域には、黒色~赤黒色、暗緑色の緑色岩類 が分布する。両者の分布は、腰岳西海岸では、南 北に伸びる調査域に並列する(走向 N46°E)よう に、主として海側に赤黒色の一部(図3、図4、図 6)に枕状溶岩の形態(写真4~9)をもつ玄武岩 類が分布し、陸側に暗緑色(図3、図4、図6)の 粗面岩(写真10~14)が分布する。両者の境界は、 断層のようにシャープに接しているところ(写真3、 27)と、複雑に入り混じるように接するところ(写 真10~13、28、29)がある。そこでは、暗緑色 部が赤黒色部に取り込まれている様子が確認できる (写真13、28、29)。

これらの岩体の一部には、二次的に方解石の脈が 生じている。特に注目したいのが、これらの緑色岩 類が石灰岩や赤色チャートを不規則な形や角礫状の ゼノリスとして取り込んでいる点である(図4、図 6、写真1、写真30~33)。石灰岩ゼノリスの中 には、明瞭なサンゴ骨格の形状を残しているものも ある(写真33)。



写真 27 赤黒色部 (R.) と暗緑色部 (G.) の境界



写真 28 赤黒色部 (R.) と暗緑色部 (G.) の境界



写真 29 採取した境界部試料



写真 30 多数の方解石の脈(白色部)と赤色チャート(C) のゼノリスを伴う赤黒色部(枕状溶岩中)の露頭



写真 31 枕状溶岩中の石灰岩ゼノリス



写真 32 枕状溶岩中の石灰岩ゼノリス



写真 33 サンゴ骨格の形状を残す石灰岩ゼノリス

以上の玄武岩類の産状から、①:チャートや石灰 岩が堆積し岩石化した後に、玄武岩質マグマが水中 で噴出したこと、②:赤黒色の玄武岩類を形成した マグマの噴出後、暗緑色の粗面岩を形成したマグマ が噴出(あるいは貫入)したと推測される。両者の マグマの活動の時間差は、前述の産状を観察する限 り、大きな時間差はないと考えられる。 調査域の緑色岩類は、玄武岩類と粗面岩のタイプ に分類された。

玄武岩類の化学組成は、プレート拡大軸(中央海 嶺)で産出する玄武岩と類似しており、それらがプ レート拡大軸で形成されたことを示唆している。こ の結果は、宮城ほか(2013)が、伊平屋島の緑色 岩類の原岩となった玄武岩類は海洋島や海嶺に起源 とするとした結果と調和する。

一方で、粗面岩はホットスポットタイプの岩石 (OIB)と類似していることから、ホットスポット 起源を示唆している。ちなみに粗面岩はSiO<sub>2</sub>が約 60%であり、MgOも低く、分化した性質を示す。 インコンパティブル微量元素の特徴は、海洋島玄武 岩(OIB)に類似しているが、玄武岩ではない。イ ンコンパティブル元素濃度がOIBよりも高く、Tiに 負の異常が認められる。この負の異常は、未分化マ グマからのチタノマグネタイト、イルメナイト等の Tiを多く含む鉱物の結晶分別を示唆している。

以上のように、玄武岩からは拡大軸、粗面岩か らはホットスポットという、異なるテクトニック・ セッティングが想定される。しかしながら、本調査 域の2種類の岩石の産状は、拡大軸とホットスポッ トのいずれのテクトニック・セッティング(図10) も支持していない。



図 10 地球上の一般的なマグマの生成場所とチャート と石灰岩の形成場所

前述のように、玄武岩類には石灰岩やチャートの ゼノリスが含まれる。チャートは遠洋性の堆積環境 のもと、拡大軸で形成された海洋性プレートが拡大 軸から離れて遠ざかっていく過程で、その上に放散 虫や珪藻などの遺骸が堆積し石化作用を受けて形成 されると考えられる(例えば平、1990)。すなわち、 拡大軸付近では形成されない。また、サンゴ骨格を 残す石灰岩ゼノリスから想定される、浅海域のサン ゴ礁の堆積環境も、通常は深海底にある中央海嶺拡 大軸付近とは異なる。さらにチャートと石灰岩は堆 積環境が全く異なる。これらの堆積環境が異なり、 いずれも中央海嶺拡大軸では形成されそうにない堆 積岩をゼノリスとして含む玄武岩類が、中央海嶺拡 大軸で噴出したとは考えにくい。

ホットスポットについてはどうだろうか。野外調 査からは、玄武岩類と粗面岩は密接に伴って産出し ている。ホットスポットの起源となる、マントルプ ルームに N-MORB的なマグマを生成する枯渇した マントル成分と OIB的なマグマを生成するオンコ ンパティブル元素に富んだ(enriched)マントル成 分の両方を含むような不均質性が期待できるのだろ うか。ハワイ諸島や他のホットスポット火山では、 N-MORBと OIBに類似するマグマの両方の活動は起 きていないことから、マントルプルームにそのよう な大規模な不均質性は期待できそうにない。

現在の地球上で拡大軸とホットスポットとが重な る場所として、大西洋中央海嶺のレイキャネス海嶺 とアイスランドがあげられる。ここでは、火山岩の 組成はレイキャネス海嶺が N-MORBでアイスラン ドが OIBであるが、火山岩の組成は地理的に次第に 変化する。本地域のように N-MORB と OIB 的な明 瞭に異なる岩石が、同一地点で共存して産すること はない。

以上のように、本地域の緑色岩類のマグマ活動の テクトニック・セッティングは、プレート拡大軸で もホットスポットでもないと考えられる。

本地域の緑色岩類の産状は、海洋プレート上に堆 積し固結していたチャートや礁性石灰岩の形成後に マグマ活動が生じたことを示唆している。礁性石灰 岩は、海洋プレート上にあった、深海底から海水面 まで達していた巨大な海洋島(ハワイのようなホッ トスポット火山)の頂部付近に発達していたサンゴ 礁堆積物が考えられる。ただし、本地域の緑色岩類 については、前述のようにホットスポット起源とは 考えにくい。一方、チャートや石灰岩が混在する状 況は、プレートが沈み込む海溝近傍の付加体が形成 されるような場所も想定される。

近年、日本海溝近傍の沈み込む直前の古い(白亜

紀)太平洋プレート上において、10 Maよりも若 い時代に活動したいくつかの単成火山(プチスポッ ト)が発見された(Hirano et al., 2006)。それらは、 沈み込むプレートの剛性変形で生じたアウターライ ズ屈曲に起因した亀裂に沿って、アセノスフェアの 溶融物(マグマ)が上昇して形成されたと考えられ ている(図11)。既存のプレートテクトニクスの概 念では説明できないメカニズムで形成された火山で ある。同様なプチスポット火山は、トンガ海溝海側 斜面やチリ海溝海側斜面などでも見つかっている (Hirano et al., 2008, 2013)。



Fig. 3. Geologic interpretations of the lava fields. (A) Schematic cross section of site A (red line in Fig. 1, B and Q. (B) A schematic cross section of a volcano at site B constructed from observations made during dives. (O A conceptual model of petit spot volcanism. Magmas from the asthenosphere scape to the shallow depths because of the extensional environment of the lower lithosphere (21) and migrate up through the britile compressed upper lithosphere by exploiting fractures created by lieaure of the plate. Data for the plate and flexure framework are from previous studies (6, 11, 22, 22).

#### 図 11 日本海溝近傍で発見されたプチスポット火山の 概念モデル図(Hirano et.al. 2006, Fig. 3)

本地域の緑色岩のマグマ形成場について、プチス ポット火山のようなテクトニック・セッティングを 考えることは可能である。

本地域の玄武岩はアルカリ元素に富んでおり、ア ルカリ岩系列の特徴を有している。これは、非ア ルカリ岩系列に属する通常の中央海嶺玄武岩とは 明瞭に区別される。一方、日本海溝近傍のプチス ポット火山の溶岩は、粗面玄武岩、ショショナイ ト、ベイサナイトなどのアルカリ玄武岩で構成され る(Hirano et al., 2006)。したがって、本研究の玄 武岩類のアルカリに富む性質は、プチスポット火山 の特徴と一致している。ただし、プチスポット火山 の微量元素は OIB的な特徴を有しており、本地域の N-MORB的な玄武岩とは異なる。しかし、本地域の 粗面岩の微量元素の特徴とは一致している。

プチスポット火山のマグマは、海洋リソスフェア 直下のアセノスフェアの特徴を反映しており、アセ ノスフェアにある小規模な不均質性が反映されてい る(Machida et al., 2009)。N-MORB的な枯渇した マントルの部分と enrich した部分が混在している ことが想定されている(Machida et al., 2009)。

本地域の粗面岩の塊状の産状は、シルとして貫入 した可能性を示唆している。日本海溝近傍のプチス ポット火山では、その山体下の径数 kmの範囲の堆 積物中に シルの存在が確認されており(Fujiwara et al., 2007)、本地域の粗面岩の産状と類似性があ る。

以上のように、本地域の緑色岩類のテクトニック・ セッティングとしては、海洋プレートが沈み込む直 前の海溝近傍のプチスポット火山が形成されるよう な場所を考えるのが適当と考えられる。

#### (3) 緑色岩類の噴出時代

伊平屋島のチャートと石灰岩中の微化石から、年 代が報告されている。Ishibashi(1984)は、田名 層の石灰岩中のフズリナ化石から、石炭紀及びペル ム紀の時代を報告した。氏家(2000)は、前岳層 のチャート及び田名層の頁岩から放散虫化石を検出 し、それぞれ、ペルム紀及び三畳紀と、ジュラ紀と いう時代を報告した。

一方、高見ほか(1999)は、放散虫化石の年代 と岩相特性を検討し、伊平屋ユニットは、石炭紀新 世~三畳紀中世の層状チャート、ペルム紀最末期の 珪質粘土岩、ペルム紀古世~中世の石灰岩、ジュラ 紀古世の珪質泥岩、およびジュラ紀古世~中世の泥 岩などを含む混在岩相からなり、ジュラ紀中世前期 に付加コンプレックスとして形成されたと推定、西 南日本外帯の秩父南帯の一部に対比されるとしてい る。 本調査域の緑色岩類に包有される石灰岩やチャー トが前述の Ishibashi (1984)、氏家 (2000) らの 時代と同様のものとすると、石灰岩やチャートの堆 積後 (ペルム紀〜三畳紀以降)、大陸側へ付加する 以前 (ジュラ紀中世前期以前) に、緑色岩のもとと なった原岩の溶岩を噴出したと考えられる。

## 7.まとめ

 (1)伊平屋島西部の腰岳西側海岸と南西部阿波岳 西側海岸には、玄武岩類 (Trachybasalt ~ basaltic trachyandesite)と粗面岩 (trachyte)からなる2種類 の緑色岩類が分布する。いずれもアルカリ岩系列に 属する。

(2) 玄武岩類は、調査域の海岸部に分布し赤黒色 を帯びており、一部に枕状溶岩の形状をもつ。

(3) 粗面岩は、海岸部よりも山側に多数分布し、 暗緑色を帯びており塊状の岩体である。

(4)2種類の緑色岩類の接触部は、次の4パターン がある。①複雑に絡み付くよう接する(両者がほぼ 同時の活動を示唆)。②暗緑色の岩石の表面を赤黒 色の岩石が被うように接する(赤黒色岩石が後に噴 出)。③両者が断層のようにシャープに接する(暗 緑色岩石が貫入?)。④暗緑色の岩石が赤黒色の岩 石を取り込むように接触する(暗緑色岩石が後に活 動)。両者の関係は、後先どちらのパターンもみら れることから、2種類の岩石の活動時期は間隙が短 く、ほぼ同時だと考えられる。

(5) 玄武岩類(粗面玄武岩)は中央海嶺玄武岩 (MORB)、粗面岩(trachyte)は海洋島玄武岩(OIB) と全岩組成(微量元素組成)が類似する。

(6)伊平屋島西部の緑色岩類は、過去に同一岩体が、 枕状溶岩とレータイト岩脈として、別々に記載され ていたものであるが、本研究において、両者ともに 存在することが明らかとなり、これらをそれぞれ玄 武岩類(粗面玄武岩)と粗面岩(trachyte)として 記載する。

(7)玄武岩類の岩体の一部には、チャートや石灰 岩のゼノリスが包有されていることから、チャート や石灰岩の堆積後に、玄武岩マグマが噴出した。

(8) 玄武岩類の形成場の水深は、石灰岩を包有していることから、炭酸塩補償深度(水深3500~

4500m)より浅い海底と考えられる。 (9)緑色岩類の形成場を、現在の海洋底にあては めると、海溝へ沈み込む海洋プレートのアウターラ イズ屈曲に起因するプチスポット火山が考えられ る。

(10)緑色岩類の噴出時代は、石灰岩やチャートの 堆積後(ペルム紀~三畳紀以降)、大陸側へ付加す る以前(ジュラ紀中世前期以前)と考えられる。

## 8. 謝辞

本研究にあたり、伊平屋村教育委員会(歴史民俗 資料館)の嘉手納知子主事には現地露頭調査及びサ ンプル採取にあたり便宜を図っていただいた。

琉球大学理学部物質地球科学科新城研究室の学生 諸氏には、試料の分析にあたり、便宜を図っていた だいた。この場をお借りして御礼申し上げます。

## 9. 引用文献

- Fujiwara, T., Hirano, N., Abe, N. and Takizawa, K. 2007 Subsurface structure of the "petit-spot" volcanoes on the northwestern Pacific Plate. Geophysical Research Letters, 34, L13305.
- 平識善史. 2004MS 伊平屋島南西岸に分布する枕 状溶岩の岩石記載. 琉球大学物質地球科学科地学 系卒業論文.
- Hirano, N., Takahashi, E., Yamamoto, J. , Abe, N., Ingle, S. P., Kaneoka, I., Hirata, T., Kimura, J.I., Ishii, T., Ogawa, Y., Machida, S., and Suyehiro, K. 2006 Volcanism in Response to Plate Flexure. Science, 313, 1426-1428.
- Hirano, N., Koppers, A.A.P., Takahashi, A., Fujiwara, T. and Nakanishi, M. 2008 Seamounts, knolls and petit spot monogenetic volcanoes on the subducting Pacific Plate. Basin Research, 20, 543-553.
- Hirano, N., Machida, S., Abe, N., Morishita, T., Tamura, A. and Arai, S. 2013 Petit-spot lava fields off the central Chile trench induced by plate flexure. Geochemical Journal, 47, 249-257.
- Hollocher, K., Robinson, P., Walsh, E., and

Roberts, D., 2012 Geochemistry of amphibolitefacies volcanics and gabbros of the Støren Nappe in extensions west and southwest of Trondheim, Western Gneiss Region, Norway: a key to correlations and paleotectonic settings. American Journal of Science, 312, 357-416.

伊平屋村. 平成10年 伊平屋村5万分の1地形図.

- Irvine, T.N., and Baragar, W.R.A., 1971 A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523- 548.
- Ishibashi, T. 1968 Bedrock geology of Iheya Islands, Okinawa Island group. Sci. Rep. Kanazawa Univ., 13, 51-72.
- Ishibashi, T. 1984 Fusulines from the Ryukyu Islands Pt.2, Iheya-jima 1 (Paleontological Study of the Ryukyu Island-IX). Mem. Fac. Sci. Kyusyu Univ., ser. D., vol. 5, 199-227.
- 木崎甲子郎編著. 1985琉球弧の地質誌. 沖縄タイ ムス社.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sørensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. and Zanettin, B., 1989 A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences. Subcommision on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications. 193 pp.
- Machida, S., Hirano, N. and Kimura, J.-I. 2009 Evidence for recycled plate material in Pacific upper mantle unrelated to plumes. Geochimica et Cosmochimica Acta, 73, 3028-3037.
- Meschede, M. 1986 A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chemical Geology, 56, 207-218.
- 宮城直樹・馬場壮太郎・新城竜一.2013 沖縄島 および周辺諸島に分布する先新第三系基盤岩類の 全岩化学組成と砕屑性ザクロ石化学組成.地質学 雑誌,第119巻,第10号,665-678.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R. 1973 Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace

element analysis. Earth and Planetary Science Letters, 19, 290-300.

- 新城竜一・宮本正雪. 2007 蛍光 X 線分析装置 (XRF)による1:5希釈ガラスビードを用いた全 岩主成分・微量成分元素の定量分析. 琉球大学理 学部紀要, 84, 5-13.
- Sun S. S. and McDonough W. F. 1989 Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. GSA Spec. Publ. 42, 313–345.

平朝彦 1990 日本列島の誕生,岩波新書,岩波書店

- 高見美智夫・竹村理佐・西村祐二郎・小島央彦 1999 中琉球弧,沖縄諸島のジュラ紀-白亜紀 古世付加コンプレックスにおける海洋プレート層 序の復元とユニット区分.地質学雑誌,第105巻. 第12号,866-880.
- 氏家宏 2000 伊平屋島及び伊是名島地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅).地質 調査所
- 宇佐美賢・宮城宏之・我謝昌一・宮城直樹 2018 伊平屋島西部の枕状溶岩及びレータイトの分布と 産状.沖縄県立博物館・美術館 博物館紀要,第 11号.1-10