

地磁気・重力異常からみた伊豆-小笠原弧の構造とテクトニクス  
植田義夫 (海上保安大学校)

Magnetic and Gravity field anomalies of the Izu-Ogasawara Arc  
and their tectonic implications  
Yoshio UEDA, Maritime Safety Academy

1. はじめに

伊豆-小笠原弧に関するテクトニクスの枠組については、現在のN-S方向に島弧が形成されたとする説<sup>(1)</sup>と、最初、東西方向で形成された島弧がその後の時計回りの回転運動を受けて、現在のN-S方向に配列したという説<sup>(2)</sup>が出されており、現在に至るまで、伊豆-小笠原弧の形成過程に関する基本的な問題として取り残されている。しかし、この数年間、伊豆-小笠原弧の海底調査は地形、地磁気、重力の面的な測量が実施され、同島弧の構造に関する定量的解析も可能となってきた<sup>(3)・(4)・(5)</sup>。ここでは、このような海底調査成果から得られた知見にもとづき、同島弧のテクトニクスについての考察を述べることにする。使用したデータは、主に水路部の実施した1/20万並びに1/50万の海の基本図の測量成果である。なを、1/20万の測量は地震予知計画の一環として実施されたものも含んでいる。

2. 伊豆小笠原弧の地形・地磁気・重力異常の特徴

(1) 地形の特徴

第1図は今回の測量成果をもとに作成した、伊豆-小笠原弧の海底地形図である。メッシュ間隔は5kmで、等深線の間隔は250mである。伊豆-小笠原弧はほぼ南北に延びる、西七島海嶺、七島-硫黄島海嶺、小笠原海嶺の3列の海嶺と、それらに挟まれた、背弧海盆地、小笠原トラフから構成される。同弧の大洋側には、水深9000mに及ぶ伊豆-小笠原海溝が同弧に併走している。また、同弧は霜婦岩構造線を境に南北で地形的様相が異なる。北部の西七島海嶺では、銭州海嶺に代表される南西-北東方向に雁行状に配列する海嶺や海山が数多く認められる。一方、南部では、このような特徴は認められない。このような北部と南部の違いは、地形以外にも、深発地震面の傾きの違い、七島-硫黄島海嶺上の火山岩の組成や山体規模の違いなどにも認められる。

(2) 重力異常の特徴

第2、3図は伊豆-小笠原弧のフリーエア重力異常図並びにブーゲー重力異常図を示したものである。地形補正は地殻の密度を $2.67\text{g/cm}^3$ と仮定し、地形のFFT法により行った。フリーエア異常図には、西七島海嶺の地形効果が重力異常にも明瞭に認められるが、地形補正を加えたブーゲー異常図にはこのような地形効果は現れず、表層付近の密度が仮定密度に近いものであることが推察される。ブーゲー異常値は四国海盆側へ向かって次第に浅くなるモホ面深度を反映し、図の西部では240mGal前後の値を示す。一方、霜婦岩構造線以南の背弧域では、ブーゲー異常値は200mGal以上の値を示す部分がほとんどであり、北部でみられるような、低異常域は認められない。このことから、南部の背弧側では、地殻の厚さそのものが北部に比べて薄くなっていると考えられる。

(3) 地磁気異常の特徴

第4図はIGRF1985からとめた伊豆-小笠原弧の地磁気異常図である。本図からは、現在の火山フロントである七島-硫黄島海嶺に沿って磁気異常域がほぼ南北に延びている様子が認められる。また、西七島海嶺の海嶺や海山にもダイポール型の磁気異常が数多く認められる。一方、伊豆-小笠原弧北部の前弧域にも、比較的波長の長い中程度の振幅を有

する磁気異常がパッチ状に分布していることがわかる。このような前弧域に見られる磁気異常は周りの地殻構成物質に比べ低密度比 ( $\Delta\rho$ )、高磁化強度比 ( $\Delta J$ ) の特性を有する。このような低 $\rho/J$ 比岩体は、日本列島の西南日本内帯、三陸沖、さらには南西諸島の東海陸棚外縁部にかけても認められ、これらの磁気異常岩体との成因との関連から注目される。前弧域で見られる長波長の磁気異常域は、一部、礫層岩構造線をはさんで、内帯（四国海盆側）にも認められるが、この原因は後で述べる、深発地震面の急な落ち込みに関連した現象として理解することができる。

### 3. 磁気基盤構造から推定される伊豆小笠原弧の海山、海嶺の磁化

磁気異常の分布は磁化ベクトルとともに、その場所での地球磁場の方向により変化する。このようなskewnessによる影響を避け、磁気異常の原因となる磁性岩体の形状、磁化強度を推定するため、磁気異常のFFTから周波数空間での繰り返し法<sup>(4)</sup>により磁気基盤深度図を作成した。計算にあたっては、磁化ベクトルの方向を現在の地球磁場方向とし、磁化強度:  $J=5.0\text{A/m}$ 、磁気基盤の平均深度を海面下4.0kmであると仮定した。

第5図はこのようにして求めた伊豆-小笠原弧の磁気基盤深度図である。この図からは、現在の火山フロントに沿って、磁気基盤の隆起部がほぼ南北に分布する様子や、西七島海嶺の西縁部を南北に連なる磁気基盤の隆起部、背弧海盆域に貫入した磁性岩体の分布域、および前弧域における大規模な磁性岩体が断続的に分布する様子などが確認できる。また、小笠原海嶺が、複数の磁気ブロックから構成されることが認められる。

西七島海嶺付近では、磁気基盤の起伏が、地形的特徴と極めてよく一致しており、これらの海嶺、海山がほぼ正帯磁していることを示唆している。ここでは、それぞれの海山の地形と磁気基盤との相関解析から相関係数を求め、個々の山体の磁化強度の推定をおこなった。その結果を第1表に示す。この表から、西七島海嶺に含まれる海山の大部分が高い相関係数を示し、それぞれがほぼ現在の地球磁場方向に磁化していることが推察される。このような正磁化の仮定は、礫層岩構造線以南の西海徳海山や西天保海山でも、高い相関係数から裏付けられる。一方、七島-硫黄島海嶺上の火山体については、水曜海山のように相関係数が0に近いものが認められる。また、硫黄島や、北硫黄島のような山体規模の大きい火山体でも、相関係数は比較的小さい。この原因としては、火山体内部の非均一な磁化構造や、磁化方向が正磁化と異なること、などが考えられる。小笠原海嶺の父島や母島の古地磁気方位は東偏磁化を示すことで知られている<sup>(6)</sup>。父島は相関係数が低く、このような古地磁気学的成果と調和的な結果が得られたが、母島では、予想に反し比較的高い ( $\text{corr.}=0.88$ ) 相関係数が得えられ、正磁化を示唆する。このような、結果は、小笠原海嶺全体としての $90^\circ$ に及び時計回り方向への回転運動について再考を促すものであろう。

磁気基盤深度図からは、それぞれの磁性岩体の規模を比較する尺度として、磁化強度と磁気基盤隆起部の体積の積から有効磁気体積を求めることができる。第2表は、このようにして求めた代表的な磁気基盤の隆起部について、有効磁気体積をもとめ、比較したものである。この結果から、北部前弧域の磁気基盤ブロックの有効磁気体積は、北部の火山フロント上の火山体の有効磁気体積に比べて一桁以上、大きい値を示すことがわかる。また、現在の火山フロントについて言えば、北部よりも南部の火山体の有効磁気体積が大きく、その傾向は特に西之島以南の火山について顕著である。このような、南北の有効磁気体積の違いは、深発地震面の傾斜角や、火山フロントの位置の定常性と関連していると考えられる。

### 4. 四国海盆拡大以降の伊豆小笠原弧のテクトニクス試論

今回の地形、地磁気、重力の面から、同弧の南北の特徴の違いを説明するモデルを

第6図に示した。(a)は四国海盆の拡大がほぼ終了した時点、(b)はその後の、背弧拡大の推移を模式的に示したものである。南部では、上部マントルが高温に維持されたため、マントルの粘性が北部に比べて低い状態にあったと考えられる。そのため、南部では急激にプレートの沈み込み角度が傾斜し、現在のようなほぼ垂直に近い角度となったと考えられる。北部に比べ、南部の内帯の地殻が薄いことは、このようなプレートの沈み込み角度の当初からの違いに起因するものであろう。リフティングの段階では、沈み込み角度の傾斜により、南部では火山フロントの位置が後退し、一部では、かつての前弧域を内側に取り込んで海溝側に移動したと考えられる。現在、礫岩構造線付近の内帯域に前弧域と似た磁性岩帯が分布するのは、この時に取り込まれたものであろう。リフティングに伴う、火山フロントの海溝側への移動は、南部では、小笠原海台の弧への衝突により制約されたが、北部ではこの影響をほとんど受けなかったと考えられる。むしろ、北部では、本州弧への衝突にともなって雁行状の弱線が形成され<sup>(7)</sup>、火山フロントの海溝側への後退に伴って、この弱線にそってマグマが上昇し、雁行状に配列した海嶺や海山が形成されたものであろう。一方、南部では、先に述べたように、火山フロントの移動が制約されたこと、プレートの沈み込み角が急なため、マグマが生産される深度100-150kmに相当する和達-ベニオフ面に相当する水平面上の幅が狭く、そこに火山活動が集中するため、北部に比べ、火山体の規模、や有効磁気体積の大きな火山列となったと考えられる。以上に述べたように、伊豆-小笠原弧はほぼ現在の南北配置で形成されたが、南部では、上部マントル上部が北部に比べ高温で粘性が低いため、現在のような南北の違いが形成されたものと考えられる。このようなマントル上部の南北での違いは、CAにも当然反映されると考えられ、今後のこの分野での観測結果に興味を持たれる。

#### 5. 正磁極期は火成活動の活発な時期に対応するのか？

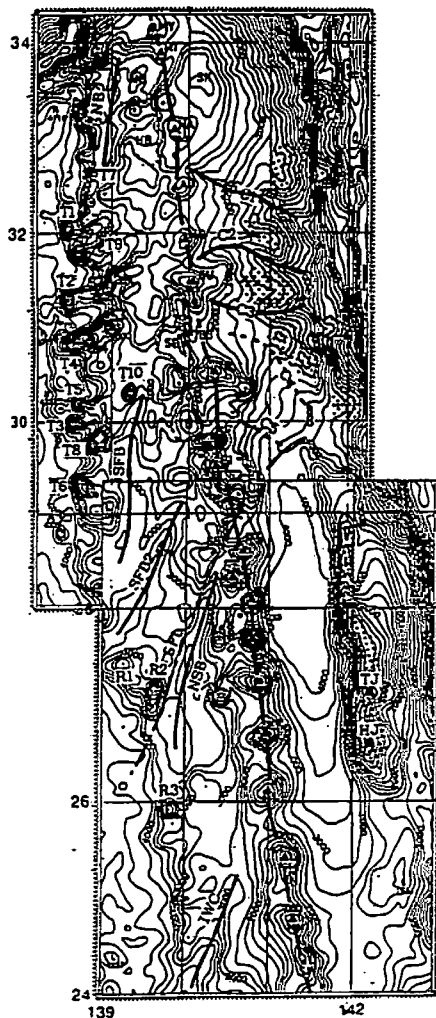
今回の解析結果で、特筆すべきことの一つは、伊豆-小笠原弧の海山、海嶺のほとんどが正磁化の構造を示すことである。特に西七島海嶺の海山では、ほとんどすべて正に磁化していると考えられる。この例外としては、七島-硫黄島海嶺上の水曜海山や硫黄島、南硫黄島、小笠原海嶺の父島ぐらいである。ただし、これらの海山でもはっきりと逆磁化を示すものではない。このような傾向は、南西諸島の火山列についてもあてはまる。筆者の解析結果では、逆磁化は一例だけしかなく、その他の大多数の火山、海山は正磁化を示している。大洋上の海山の磁化についても、圧倒的な部分が正磁化を示す<sup>(8)</sup>。このような、正磁化が卓越する結果については、誘導磁化の寄与、粘性残留磁化の影響等も考えられる。しかし、この場合には、各山体の磁化強度を説明するためには、通常の帯磁率よりも一桁大きい帯磁率を仮定する必要があり、特別な岩石磁氣的機構を考える必要がある。また、粘性残留磁化については、海山の場合、それを原因とすることは出来ないという結果が示されている。

以上、岩石磁気学的な説明が困難とすれば、なんらかの原因で、正磁極期には、火成活動が強まると考えるしかない。正磁極期には、地球内部の熱エネルギーが解放され、逆磁極期には反対に地球内部に熱エネルギーが蓄積されるのではないだろうか。地球主磁場の原因となる、外核でのダイナモ作用に、内部エネルギーの蓄積と発散過程の二つのモードが繰り返されていると考えられないだろうか。

#### 参考文献

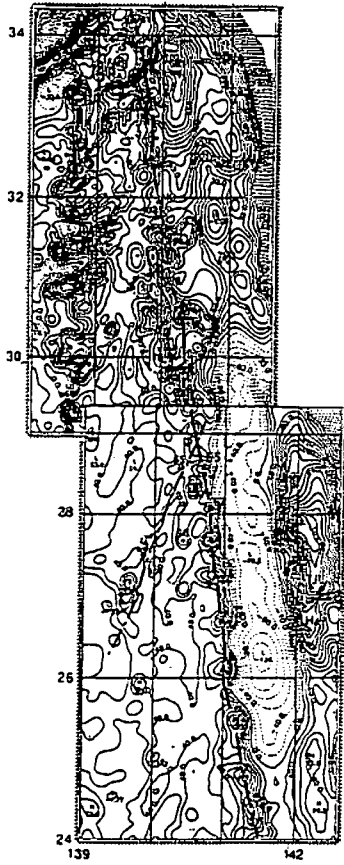
- 1) Uyeda, S. and A. Miyashiro: Plate tectonics and the Japanese Islands: A synthesis, Geol. Soc. Am. Bull., 85, 1159-1170, 1974.

- 2) Seno, T. and S. Maruyama, Paleographic reconstruction and origin of the Philippine Sea., Tectonophysics, 102, 53-84, 1984.
- 3) Yamazaki, T., T. Ishihara and F. Murakami, Magnetic anomalies over the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc, Mariana arc and Mariana Trough, Bull. Geol., Surv. Japan, 42, 655-686, 1991.
- 4) Ueda, Y., Study on crustal structure of Japanese island arcs as revealed from magnetic and gravity field analysis, Rept. Hydr. Res., 30, 61-174, 1994.
- 5) Okubo, Y., M. Makino, S. Kasuga, N. Isezaki, T. Yamazaki, T. Ishihara and T. Nakatsuka, Magnetic anomalies of Japan and Adjoining areas, J Geomag. Geoelectr., 46, 411-421, 1994.
- 6) Haston, R.B. and M. Fuller, Paleomagnetic data the Philippine sea plate and their tectonic significance, J. Geophys. Res., 96, 6073-6098, 1991.
- 7) 貝塚茂樹: 南部フォッサマグナの変動地形と構造、第四紀研究、23, 55-70, 1984.
- 8) Sager, W.W., Late Eocene and Maastrichtian Paleomagnetic poles for the Pacific plate: implications for the validity of seamount paleomagnetic data, Tectonophysics, 144, 301-314, 1987.

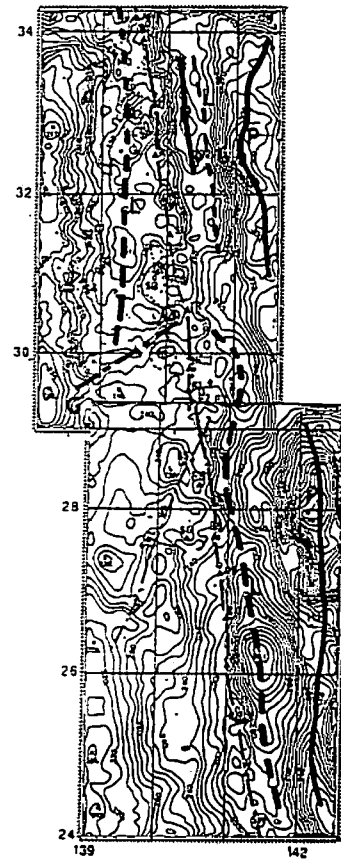


Abbr.	name	position	
		Lat	Lon
MY	Miyake Sima	34° 05'	139° 31'
MI	Mikura Sima	33 52	139 35
HA	Hatizyo Sima	33 07	139 48
AG	Aoga Sima	32 28	139 45
MG	Myozin Syo	31 55	140 00
SU	Sunisu Sima	31 30	140 05
TR	Tori Sima	30 32	140 22
SF	Sohu Gan	29 47	140 21
E1	Nitiyo SMT	29 28	140 21
E2	Getuyo SMT	29 18	140 28
E3	Oonati SMT	29 12	140 50
E4	Kayo SMT	29 02	140 32
E5	Suiyo SMT	28 35	140 45
E6	Mokuyo SMT	28 20	140 35
E7	Kinyo SMT	28 05	140 47
E8	Doyo SMT	27 40	140 52
S6	Sawa SMT	27 39	140 28
HS	Hisino Sima	27 14	140 58
KK	Kaikata SMT	26 42	141 30
KT	Kaitoku SMT	26 05	141 00
KI	Kita-Io Sima	25 24	141 18
IO	Io Sima	24 46	141 19
SW	Minaai-Io Sima	24 12	141 28
S1	Kanbun SMT	31° 45'	138° 40'
S2	Tenwa SMT	31 22	138 43
S3	Genroku SMT	30 58	138 57
S4	Houei SMT	30 52	138 39
T1	Nisi Syoou SMT	32 03	138 22
T2	Nisi Teikyo SMT	31 18	138 21
T3	Kanei SMT	29 57	138 24
T4	Seitoku SMT	30 47	138 21
T5	Kampo SMT	30 10	138 36
T6	Anei SMT	29 17	138 40
T7	Seiho SMT	32 20	138 45
T8	Meiwa SMT	29 43	138 40
T9	Manzi SMT	31 52	138 57
T10	Houreki SMT	30 18	139 16
R1	Nisi Tenpo SMT	27 15	139 22
R2	Tenpo SMT	27 09	139 36
R3	Nisi Kaitoku SMT	25 56	139 49
TJ	Titi Sima	27 03	142 08
HJ	Haha Sima	26 38	142 12
C1	Aogasima submarine canyon		
C2	Myozin submarine canyon		
C3	Sunisu submarine canyon		
C4	Torisima submarine canyon		
MB	Mikura Basin		
HB	Hatizyo Basin		
SB	Minaai Sunisu Basin		
TB	Tori Sima Basin		

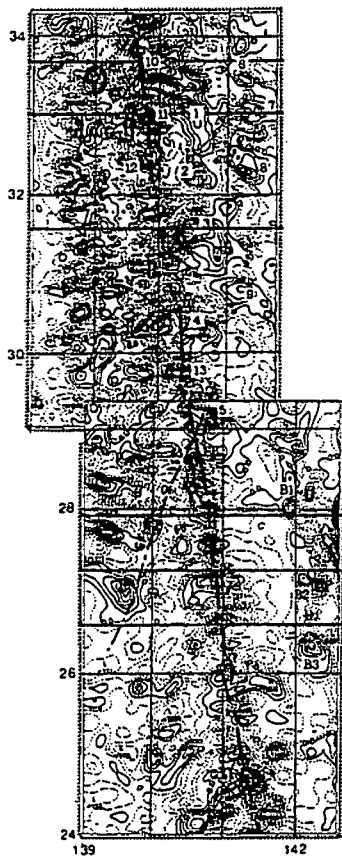
第1図 伊豆-小笠原弧の地形と地形名  
SFL: 霏婦岩構造線, 等深線間隔: 250m



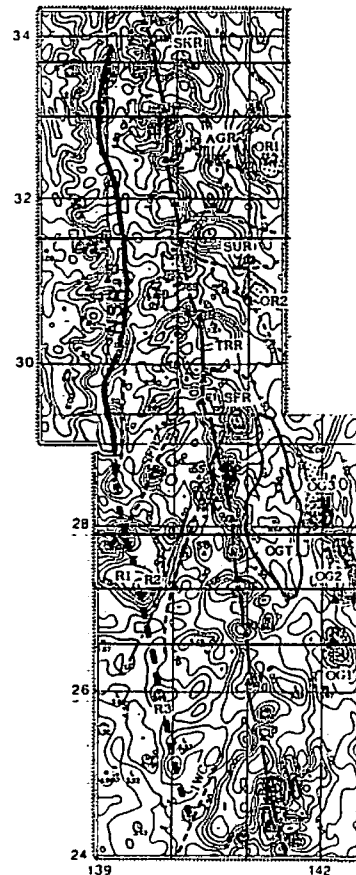
第2図 伊豆-小笠原弧のフリーエア重力異常図  
等値線間隔: 北部 10mGal, 南部 20mGal



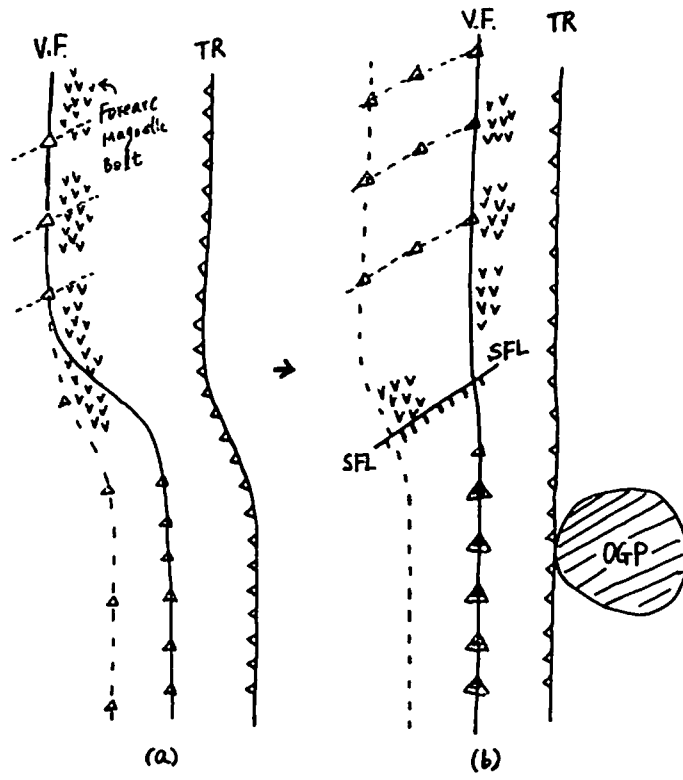
第3図 伊豆-小笠原弧のブーゲー重力異常図  
等値線間隔 10mGal. P: 高異常帯, L: 低異常帯



第4図 伊豆-小笠原弧の地磁気全磁力異常図  
等値線間隔: 50nT



第5図 伊豆-小笠原弧の磁気基底深度図  
等値線間隔: 0.5km, NSR: 西七島海嶺



第6図 四国海盆拡大以降の  
伊豆-小笠原弧の発達過程  
V.F.:火山フロント, TR:海溝, OGP:小笠原海台  
∇∇∇:前弧火成岩ベルト, SFL: 礫層岩構造線

第1表 伊豆小笠原弧の海山、火山体の  
地形と磁気基盤深度との相関解析結果

Area	Abbr.	J A/a	Corr.	$\rho^*$ g/cm <sup>3</sup>	Uredged <sup>a</sup> samples
N VF	AG	*	0.47	2.72	
N VF	SU	14.0	0.51	2.64	BA, RH
N VF	TR	*	0.54		BA, AH
N VF	SP	7.2	0.74		BA
N VF	E1	8.4	0.62		AH
N VF	E2	7.8	0.71		AH
N VF	E3	*	0.45		AH
S VF	E4	8.5	0.66	2.70	AH
S VF	E5	*	-0.06	3.16	BA
S VF	E5	15.9	0.71	2.98	BA
S VF	E7	6.4	0.93	2.74	AH
S VF	E9	6.3	0.93	2.71	BA
S VF	S6	7.4	0.83	2.65	AH
S VF	MS	7.2	0.96		AH
S VF	E1	10.2	0.67		BA, AH
S VF	K7	7.5	0.96		BA
S VF	K1	17.1	0.59		AH, DA, BA
S VF	I8	*	0.40		TR
S VF	ST	*	0.27		TR, BA
N NSR	S1	4.5	0.95	2.74	
N NSR	S2	8.9	0.69	2.71	BA
N NSR	S3	6.3	0.88	2.59	
N NSR	S4	4.2	0.94	2.55	BA
N NSR	T1	3.6	0.88		
N NSR	T2	3.7	0.52		
N NSR	T3	6.1	0.65		
N NSR	T4	3.9	0.91		
N NSR	T5	6.5	0.88		
N NSR	T6	5.3	0.82		
N NSR	T7	5.9	0.32		
N NSR	T8	4.7	0.96		
N NSR	T9	7.0	0.79		
N NSR	T10	9.8	0.72		
S NSR	R1	8.8	0.83		
S NSR	R2	11.5	0.68		
S NSR	R3	4.6	0.89		
S OGS	TJ	9.4	0.52		BO, AH
S OGS	BJ	6.6	0.88		AH

第2表 伊豆小笠原弧の代表的な磁気ブロックの  
有効磁気体積の比較

Name	Bulk magnetization (A/m·km <sup>3</sup> )
Aoga Sima	3004
Sumisu Sima	3636
Tori Sima	6589
Sofu Gan	3994
Sinkurose bank	83410
Sumisu Spur	26938
Torisima Spur	16081
Oomati SMT	30999
Kayo SMT	3320
Suiyo SMT	6032
Mokuyo SMT	3736
Kinyo SMT	4184
Nisino Sima	14877
Kaikata SMT	10092
Kaitoku SMT	11746
Kita Ito Sima	16895
Ito Sima	21223