

世界の海洋底

深海底に散らばっている数え切れない海山はプレートの移動や沈降の歴史を記す座標軸であり、古文書の役目も果たす。その斜面にはコバルトリッチクラストなどの有用鉱物を産する。海山の多くは、ホットスポットとよばれるマントル深部からの上昇流でつくられたとされる。地球の核・マントル境界の情報さえもたらしてくれる可能性がある。海山は旧くて新しいホットな対象である。



略歴
 昭和8年 東京に生れる
 昭和36年 東京大学大学院地球物理学課程卒
 昭和46年 東京大学海洋研究所教授 現在に至る

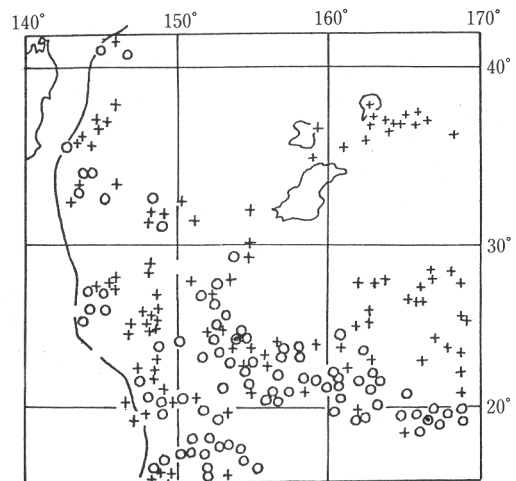
東京大学
 海洋研究所 小林 和男
 Kazuo Kobayashi

1. 深海にきらめく海山

海底のそこかしこには、富士山やキリマンジャロにも劣らぬ、時としてそれらよりはるかに大きい孤立した円錐形の山が潜んでいる。頂上が海面上に顔を出している場合は島としてふつうの地図にも記されているが、大部分は海面下深くにあって測深によるしかその存在を知ることができない。山の大きさは様々だが、海底からの高まりが1 km を超えるものを海山とよぶことにしている。海山は世界中ほとんどこの海にも見られるが、北西太平洋には特に多い。海底地形を浮彫り式に描いた最近はやりの模式図では北西太平洋は至る所とげだらけに見える。1986年に亡くなったメナードは名著 Marine Geology of the Pacific (1964) の中で太平洋全体の海山の数をおよそ1万と試算しているが、おそらくもっと多いのではなかろうか。今でも航海中に海図未記載の海山を発見することがまれではない。

海山には、とんでもない所に1個または数個飛

び離れている一匹狼の海山もなくはないが、多くは一列に並ぶか、群をなしている。「海山は深海という夜空に輝く星座である」(佐藤任弘著「海洋と地質」共立出版1971)と言われるとおり、幾つかの海山を列や群にまとめて様々な名前がつけられている。古代人が夜の星を北斗七星や牽牛織



○島およびリーフ ○ギョー +海山

図-1 北西太平洋の海山、ギョー、環礁

女、さそりやオリオンになぞらえたように海山列にも独特の愛称が生まれた。マークス・ウェーキ海山列や中部太平洋海山群など地名を入れた名前のほか、音楽家海山列、数学者海山列、はては芸者海山列というふざけたのもあって改名を考慮中である。

2. 煙は残るハワイ諸島

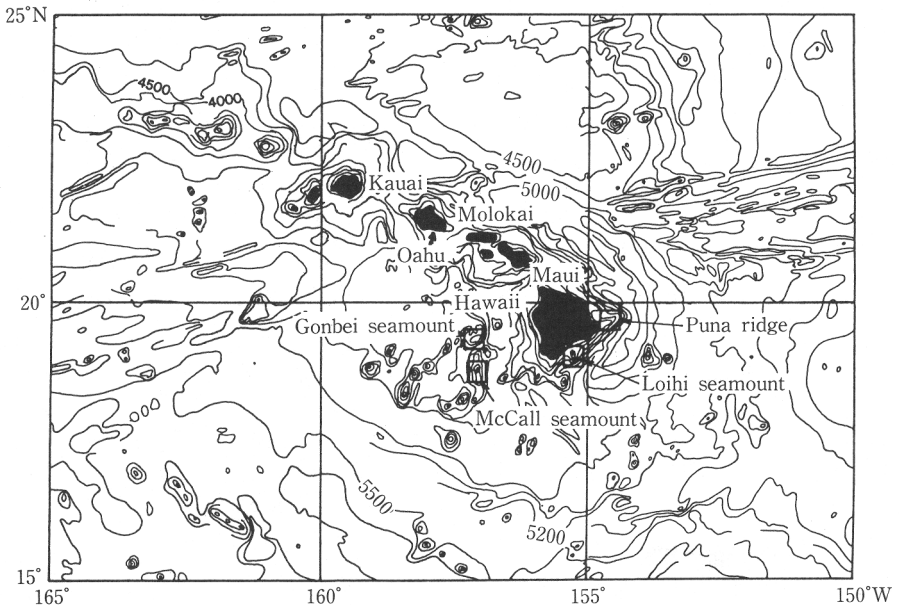
海山列で最初に注目され、最も詳しく研究されたのは北太平洋の中央部に横たわる火山島と海山の列であった。ハワイ諸島は東端のハワイ島が現在噴火中であり、マウイ、モロカイ、オアフ、カウアイと西へ行くほど古くて、沈降と侵食が進んでいる。ついにはミッドウェーのような環礁となり、さらに海山の列へと変っている。

1963年トロント大学のチューズー・ウイルソンは、サイエンティフィック・アメリカン誌4月号にハワイ諸島のこの配列はマントル深部から立ち昇るひと筋の煙（プリューム）の上を海底が移動してできると主張し、AGUの年会でも講演した。ヘスとディーツの海底拡大説発表の翌年であり、

磁気縞模様のバイン—マシューズ説（本誌第2号 p. 21）が出る5か月前であった。私は偶然この講演会場（ワシントンDCの官庁ビル内）に居合わせたのが、聴衆に与えた衝撃もかなりのものがあったのを憶えている。

このモデルは単純ながら岩石学、化学、熱学等多分野に適応し、検証可能なので、広くもてはやされた。まず1971年にプリンストン大学のジェーン・モルガンがそれまでの知識をまとめ、マントル・プリュームに物理的基礎を与えてからあまたの論文が書かれ、地球上の至る所にそれらしいものが見いだされた。

ハワイ諸島についても多くの研究が進んだ。とりわけ目を引くのは、ハワイ島のキラウエア火口よりもさらに約50 km南東の海底活火山ロイヒの発見であった。この海山は最初その火山性地震が米海軍の潜水艦探知網に検知されたのがこの始まりだったが、数年前に詳しい地形図が公開され、試料採取や写真撮影などの学術調査が進んだ。火口直上の海水温度が周囲より1°C以上高いなど熱水噴出の証拠も見いだされた。東大



図一 2 ハワイ諸島周辺の海底地形

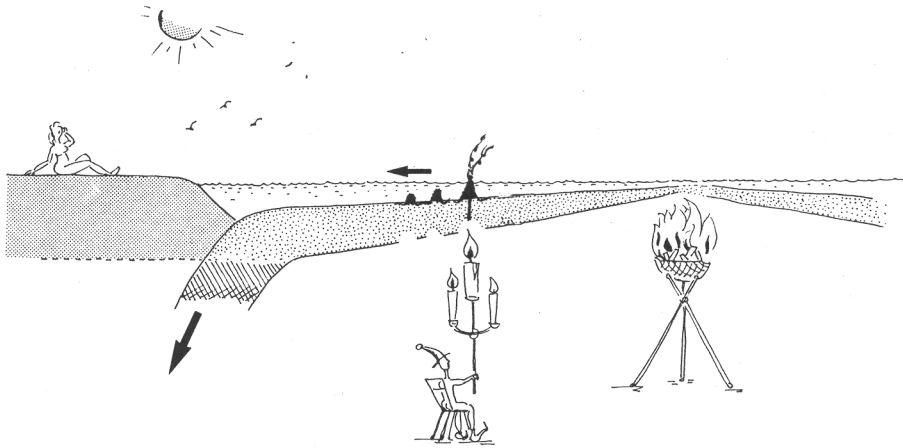


図-3 海底の移動とホットスポット (友田好文, 1985)

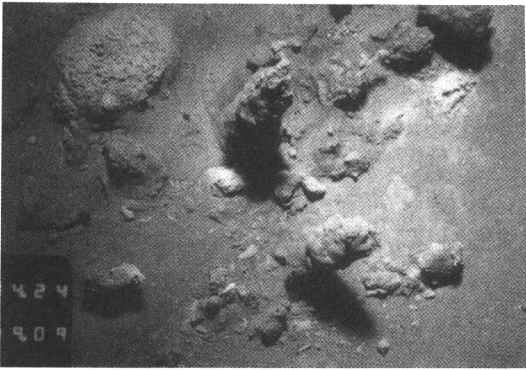


図-4 ロイヒ海山の熱水噴出チムニー (水深 1,120 m)
(Fujioka et al, 1989)

の白鳳丸は KH 85-4 次航海でハワイ大学との協力によるロイヒ海山の化学的調査を行い、水深 1,000 m の火口壁で熱水の存在を突きとめた。深海カメラによって熱水鉱床と枕状溶岩の写真を多数撮影している。この火口付近はその後の海底噴火で全く姿を変えてしまったので、この写真は海山の 1 時期を示す貴重な記録となった。

太平洋プレートの移動速度を 8 cm/年とし、真のホットスポットはロイヒ火口の直下にあるとすると、キラウエアは約 60 万年前にはプリュームの直上から離れ、現在のマグマ活動は燃えかすにすぎないことになる。もっとも、火山活動はい

つもプリュームの直上に起こるわけではなく、スポット状に進行するらしい。ハワイの島々の一つ一つの年代にも百万年近い幅があることが知られているが、いったん噴火を始めるとかなり長い間同じ出口からマグマが出ることを示している。

3. プレート運動の足あと

ハワイ諸島でもハワイ島のキラウエア火口から 300 km ほど離れたオアフ島は 2.2~3.5 Ma, 500 km 離れたカウアイ島では 3.8~5.6 Ma (Ma は百万年前) という年代が知られていて、西ほど古くなる傾向は明瞭である。ハワイ諸島の列は東南東から西北西へと並んでいるが、東経 170 度付近で急に向きを変えて南北向きになる。しかも島は全くなくなり、すべて海山になる。

この海山列には戦後間もなく米国のディーツによって神武以来の天皇の名が付けられ、天皇海山列として広く通用するようになった。ここでも北ほど古く、最北端の明治海山の年代が 70 Ma である。北緯 45 度の推古海山は白鳳丸 (初代) ができた頃の KH 68-3 航海で調査され、その 10 年後に国際深海掘削計画の第 55 次航海で水深 1,874 m の山頂に 550 m の掘削が行われた。孔の上部はサンゴ質石灰岩でできていて、その底の化

石年代は 58 Ma であった。現在は北海道の網走とほぼ同緯度にあるこの海山が 6 千万年近い昔はサンゴ礁ができる熱帯の海にあったことになる。

掘削孔の下部からは海山に特有なアルカリ玄武岩が回収された。その残留磁化の方向が 90 枚以上の溶岩層について測定された。地球磁場の伏角（水平面となす角度）は緯度がちがえば異なり、赤道では水平、極では鉛直なので、古地磁気測定から海山の生成緯度が求まる。この結果、推古海山ができたのは北緯 25 度であったとされた。同じ岩石の同位体年代は石灰岩の年代よりわずかに古い 59 Ma であった。

ハワイ諸島と天皇海山列との折れ曲がり点の年代は約 43 Ma と推定されるので、太平洋の海底は少なくとも 70 Ma 前から 43 Ma 前にかけて北上してから、その後西北西に向きを変えて移動していることになる。ホットスポットはその間ずっとほぼ同じ地点で活動を続け、プレート上に明瞭な足あとを残したわけである。

詳しく見れば現在のハワイ島またはロイヒ海山は北緯 20 度にあるので、ホットスポット自身も完全に不動ではなく 6 千万年間に 5 度（距離にして 550 km）ほど南下したことになる。この値は海底の移動距離約 5,000 km に比べれば 1 桁小さく、第 1 近似としてはマントルプリュームは不動であるとしてよいと思われる。

4. 乱立するマントルプリューム

ハワイ天皇海山列のホットスポット説が成功したのを見て、地球上の他の場所のプレート内火山活動を同じ考えで説明しようとする試みが次から次へと出現した。太平洋だけでも 10 を超えるホットスポットが考えられ、大西洋やインド洋にもかなりの数が提案された。それらのうちにもハワイ型の古いプレート内にできたものと、アイスランド型やイースター島型の中央海嶺上のホットスポットが区別できる。陸上にもデカン高原の玄武

岩をホットスポットの特別に活発な段階で説明する考えがあり、大西洋の分裂の開始をホットスポットの列のためとする説、さらに進んでパンゲャ巨大陸が長い間マントル上部に蓋をしていたのがホットスポット列を生む熱的原因だとする仮説も唱えられた。

人工衛星からきめられるジオイドの形や、地震波トモグラフィー（断層診断法）による核・マントル境界の起伏などを現在と過去のホットスポットと結びつける努力もされている。これまでの所まだ統一的なマントルプリューム像は完成せず、様々なタイプが現象的に考えられている段階であるが、少なくとも熱的にはプリュームの根はかなり深く、下部マントルを貫いていてもおかしくはない。

5. 海山によるプレートのたわみ

平坦な海底に海山あるいは火山島ができると、その分だけ余分な質量が上に乗ったことになるので、その重さで海底は弾性的にたわんで、山の周囲に窪み（モート）が生じる。ハワイ諸島のまわりにはこの成因の深さ数百 m のへこみが城を囲む堀のようにはっきり見られる。そのさらに外側には緩い高まりがあり、どちらもプレートの局所的なたわみによる地形である。

堀の中には山腹から落ち込んだ砂や火山灰などが積って、地形的にはあまり深くない場所もあるが、その場合も重力のフリーエア異常を測るとモートの形が明瞭に描ける。新しい砂や灰の密度は火山体に比べてはるかに小さいので重力異常には影響を与えないからである。

海山の重さはアイソスタシーにより山体の沈降によって補償されるが、山の径が 100 km 程度なので山だけ単独に沈まずにもう少し広い（山の 2~3 倍の）範囲のプレートの弾性によって支えられる。周囲にモートや高まりができるのはそのためである。プレートのたわみ方は山ができた時の

海底リソスフェアの厚さによって異なるにちがいない。プレートはできたてはごく薄く、時間とともにその平方根に比例して厚さを増すので、モートの形を測って理論値と比較すれば、海底のどの年代の時にできた海山かが判定できることになる。海底の年代は磁気の縞模様（本稿その2参照）から分かるから、海山のおよその年代をモートの形から決めることができる。少なくとも、ある海山が中央海嶺上でできたものか、ハワイのように古い海底の中に誕生したのかは区別できる。太平洋では昔の中央海嶺は海溝から沈み込んでしまって今では全く姿を見せないものが多いので、この区別は海山の成因を探るのに役立つ。図-5はラモント・ドハーティ地学研究所のワッツらによるこの方法による海山の分類で、左の図に三角で示したのは、昔の拡大軸上で作られた海山、右図に黒丸で示したのが拡大軸から離れた古いプレート上に生成されたハワイ型の海山である。

北西太平洋のシャツキー海膨は東大海洋研の中

西らによる中生代磁気縞模様の研究から150 Ma頃に突然太平洋・ファラヨン海嶺上に出現した巨大なホットスポットから生まれたことが分かった。付近のプレートはこの出現にかなりの影響をうけて再配列し、三つの海嶺が交わる三重点が126 Ma頃までホットスポットの上に滞留した。シャツキー海膨はこの期間に太平洋プレート内にできた厚い玄武岩の集積で、南西側が古く、東北ほど新しくて高まりは細くなっている。面積が大きいため全体としてはアイソスタシーが成立し、フリーエア異常は0である。ライン諸島やツアモツ諸島の列もそれぞれ約100 Maと60 Ma頃の海嶺上のホットスポットから出たらしいが、不明な点も残っている。

これに対し、北西太平洋のマーカス・ウェーキ海山列やマゼラン海山群は明らかにハワイ型で中央海嶺から離れたホットスポットで作られたと考えられる。最近話題になっている海山中腹水深2,000 m付近に産するコバルトリッチクラスト

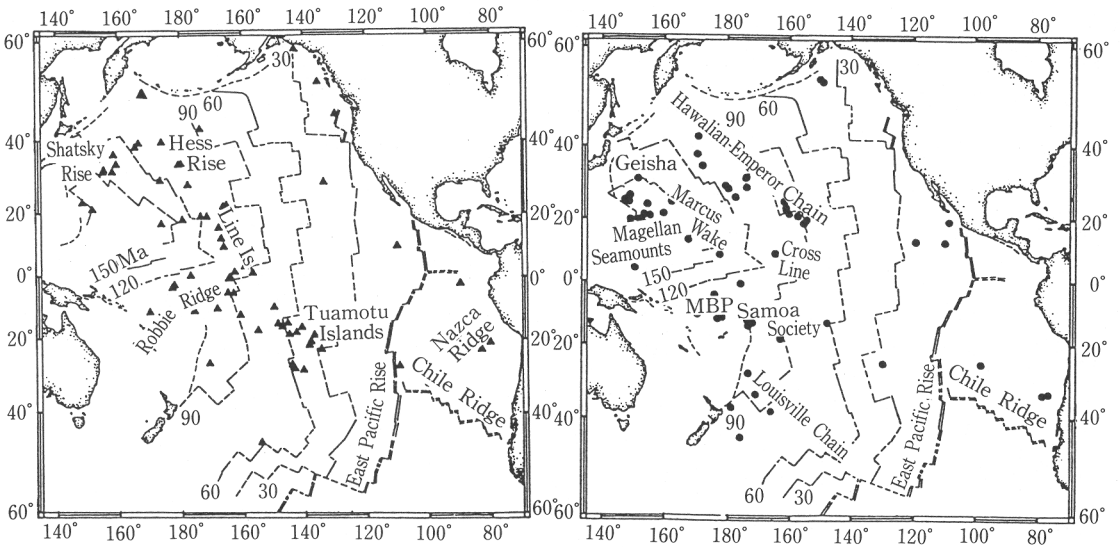


図-5 モートの形によって分類された海山

三角(左)：中央海嶺上のホットスポットから生まれたもの

黒丸(右)：プレート内ホットスポットでできたもの

破線は磁気縞模様からきめられた海底の年代線, MBP はメラネシア境界海丘

は、海山が古いほど厚く高品位である可能性がある
 ので、磁気縞模様から判定した最古の太平洋底
 (マリアナ海溝東方)に中央海嶺型の海山をこの
 方法で探すとコバルトに富む最古の海山が見つかる
 かもしれない。

6. 海山の根を探る

海山を乗せたプレートが下向きにへこんでモー
 トを作っているとするモデルは地下構造探査に
 よって確認することができた。ハワイの下でプ
 レートが弾性的に反応する部分の厚さは18ない
 し38 kmと諸説がある。いずれにせよその下は
 次第にやわらかく塑性的になっている。その底面
 までの局所的なへこみを地震学的手法だけで検出
 するのは至難のわざであるが、その上部の海底地
 殻の様子を調べるのは現代の技術で可能である。

実際の観測は1982年8~9月にコンラッドとカ
 ナケオキの2船で、オアフ島とモロカイ島の中間
 の高まりについて行われた。この海峡は2島間が
 約50 kmしか離れていないので、島列の地下構
 造を出すには最適である。コンラッドは長さ3.6
 kmの48チャンネルストリーマーと2,500立方イ
 ンチエアガン、カナケオキは2,000立方インチ
 のエアガンと火薬を用いて、長さ600 km、幅100
 kmの帯内を共同調査した。CDP法を中心とする
 マルチチャンネル反射法は海底石油探査のため石
 油業界を中心として多額の費用をかけて開発され
 て来たが、最近2船を用いて広角反射法や屈折法
 探査も行えるようになり、P波速度を含む詳しい
 地下構造情報が得られるようになった。

図-6にはこうして得られたモロカイ海峡の地
 下構造と重力異常及びジオイド値を示す。地殻が
 下へしなっているのがよく分かる。下部の密度
 3.15 g/cm^3 の層は深部から上昇した後期のマグ
 マが固結した岩体の存在を示す。他の海山やシャ
 ツキー海膨などで同様な観測が行われることが期
 待されている。

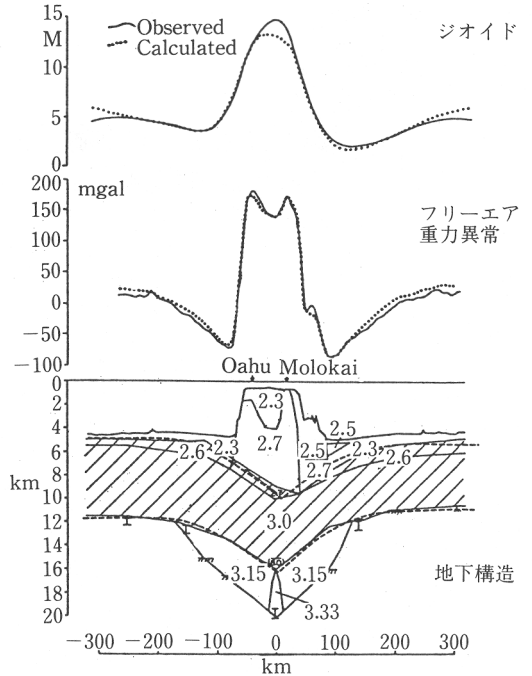


図-6 オアフ-モロカイ間の地下構造と重力異常及び
 ジオイド高。地下構造の数字はマルチチャンネル
 2船法によって得られたP波速度を密度
 (gr/cm^3) に置きかえた値。

7. 海山の帽子—サンゴ礁

海山山頂の水深は数十 m から6,000 m 近くま
 で様々であるが、水深が1,000 m 前後の山頂は
 極めて平らであることが多い。この例は既に
 1946年にヘスによって発見され、ギョーと名付
 けられていた。山頂が平らな原因は、その海山が
 火山島として生成直後に波浪による侵食を受け、
 その後沈降したのだとされた。

最近のシービームによる詳しい地形調査や、深
 海掘削及び深海カメラと潜水船による直接観察に
 よると、ギョーの大部分はサンゴ礁性の石灰岩を
 上に乗せていて、全体として平坦な山頂の形はか
 つての環礁と礁湖の存在を反映することが分かっ
 て来た。北緯45度にある推古海山(これも山頂
 はほぼ平坦でギョーに近い)の山頂でも礁性石灰

岩が掘削されたことは既に述べたが、日本海溝と千島海溝の交叉点にある襟裳海山（本稿その3—図—1）の水深3,930 mの山頂にも礁性石灰岩がノチールによって発見されている。そのやや南寄りの山頂からはやはりごく浅い海に産する巻貝ネリニアの化石も見つかっていて、襟裳海山がかつて熱帯の海に頭を出してサンゴ礁ができていたことが明らかである。

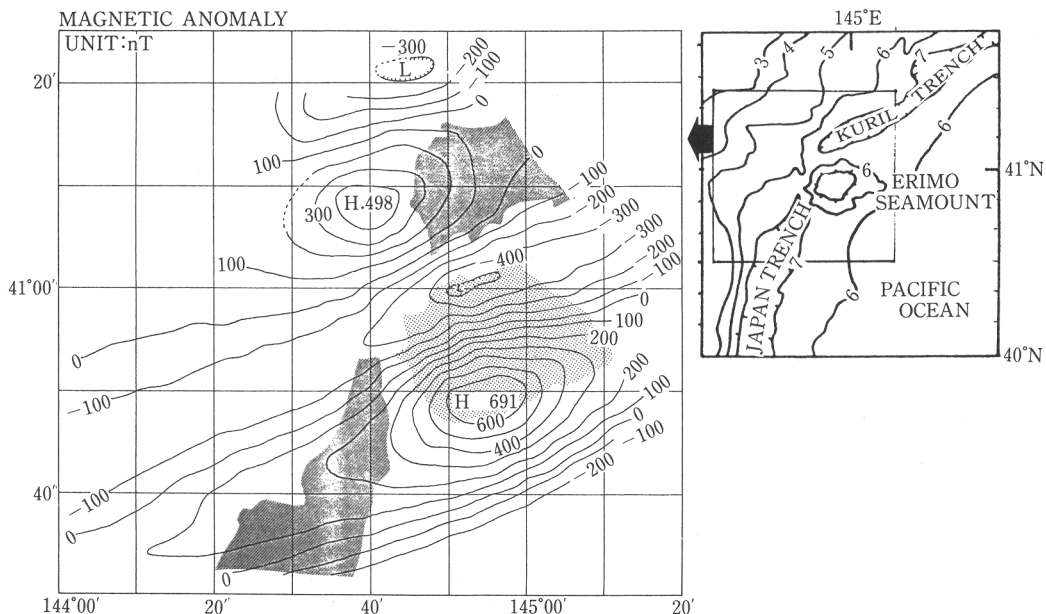
銚子沖（35°N）の第一鹿島海山では、正断層で切られた山体の両方の山頂が厚さ200 mの礁性石灰岩及びそれと同じ位の厚さの堆積物で蔽われていることが、ノチールによる崖の直接観察から分かった。石灰岩には白亜紀（約1億年前）の底生有孔虫オルビトリナが含まれていた。

現在は東側の山頂の水深は最も浅い所で3,600 mなので、火山活動休止後まずサンゴ礁を乗せながらゆっくり200 mほど沈降し、その後急激

に4,000 mまで沈降したことになる。西側の山体は正断層で切られてさらに1,500 m落ちていて、山頂の水深は6,000 m近い。この西端では海水に溶けかかった礁性石灰岩が陸側の泥岩の下に接していることがノチールの窓から観察された。炭酸カルシウムは約4,000 mより深い海中では急速に溶けてしまうことが知られているので、この事実は第一鹿島海山が東西二つに割れたのはせいぜい百万年前頃の出来事であることを示している。この山ははるか熱帯で噴火した後ゆっくり沈降しながらはるばる日本海溝までたどりつき、断層で切られるとともに海溝内に沈み込みをはじめたのであろう。

8. 海山の磁気異常

海山の山体の大部分は大きな残留磁化を持つ玄武岩で出来ているので、海山の上で磁場の強さを



図—7 襟裳海山とその北方の沈み込んだ海山の磁気異常（左）。沈み込んだ海山は海底地形（右）には全く現れていないことに注意。磁気異常の単位は nT（ナノテスラ）、等深線の数字は km。左図の陰は7,000 m 以深の海溝軸部と襟裳海山6,000 m 以浅だけを示し、大陸斜面は示していない（山崎，岡村，1989）。

測ると、その山体の磁化から生じる独特の磁気異常が得られる。山の形を音響測深によって詳しく測っておけば、測定値の解析からこの海山がどの方向に、どのくらい強く磁化しているかが分かる。

この計算法は1962年にスクリップス海洋研のバキエによって提案され、タルワニによりさらに便利なプログラムが考案された。海山玄武岩は噴出時のその場所での地球磁場と平行に磁化するので、この方法によって海山がどの緯度で生成されたかが推定できる。この考えを基にバキエ・上田ら多くの人々によって海山の磁気異常が測定され、海底移動の指標の一つとして役立った。

幾つかの海山ははっきりと逆向きに磁化していて、ちょうど地球磁場が逆転していた時期に噴火したことを示した。中央太平洋の海山を調べると、現在と同じ向きに磁化した海山が圧倒的に多く、逆向きは少ないが、これはこの海域の海山がたまたま地球磁場が現在と同じ向きを向き続けていた白亜紀中期(80~110 Ma)に噴火したためと考えられる。磁場が逆転しなかった時期に海山をつくるホットスポット活動が特に激しかったかどうか、今後解決されるべき課題である。

山体は大きいのに磁気異常が伴わない非磁性海山が所々に見いだされることがある。海山本体をつくる岩石が非磁性とは考え難いので、おそらく山体を形成する幾層もの溶岩の一部が現在と反対向きに磁化して、全体の異常を打ち消しているのであろう。白亜紀中期を除けば地球磁場は百万年に2~3回反転を繰り返しているのだから、一つの海山の火山活動が百万年ほどの寿命があるとすれば、正逆の向きがちょうど打ち消して見かけ上非磁性になる可能性もかなりあるにちがいない。

9. 海溝に沈み込む海山

第一鹿島海山の西端は山頂部が今まさに陸側の

下に入り込もうとしているように見える。連続音波探査の記録をながめると、山体の一部は既に陸の下に入り込んでいるのが分かる。

海底地形だけを見る限り全く海山の姿はわからない所で、磁気異常を測ると明瞭に海山型のパターンが見えてくることがある。1984年夏にKAIKO計画(I)のジャン・シャルコーで千島海溝と日本海溝の接合点北部を測っている時、襟裳海山にも劣らない見事な磁気異常が陸寄りの日高海底谷側に発見された。付近の連続音波探査データを調べると、厚い堆積物の下に大きな海山(頂上の水深約7 km)が存在することが分かった。

海山はこのように海溝からほとんど丸のまま陸の下へ呑み込まれてしまうことが多いらしい。その際も海山の破片の一部として玄武岩や石灰岩の岩塊は陸側の泥の中に獲得されて残っていることがある。第一鹿島海山西南端に接する陸側斜面上にも明らかに海山麓のものと思われる玄武岩の破片が露出していたのがノチールから観察された。

こうして陸側に付加されたと考えられる海山型の岩石が古い陸上の地層中に見いだされることも多い。本州太平洋側の瀬戸川帯・嶺丘帯の露頭には明らかに海山のものとされる玄武岩の枕状溶岩やその上下の岩相を産出するし、北海道の常呂(ところ)にも海山の一部が露出している。

さらに大きな海山または海台だと、山体全部が沈まずに陸側に付加してしまう可能性がある。現在陸上に分布する古い玄武岩には深海底におけるホットスポット起源のものがかかなり多いと思われる。逆に現在は海底にあって山頂の水深が1,000 m近い奄美海台などは、琉球海溝を飛び越えて島弧側と衝突をはじめている(喜界島が激しく隆起しているのもそのためである)ので、いずれは沈み込まずに陸側に付加してしまうと予想されている。