

明神海丘カルデラ・サンライズ鉱床の成長史

飯笹 幸吉^{*1}

1998年までのしんかい2000の潜航調査により、伊豆・小笠原弧の明神海丘カルデラの東部カルデラ床縁辺部において、ブラックスモークを噴出する巨大な硫化物チムニー群及び塊状硫化物を伴う、少なくとも幅400m 長さ400m高さ約30m以上のマウンド地形が、明らかにされていた。1999年の潜航調査では、この金・銀に富む黒鉱型鉱床が、従来の鉱床の北東縁辺部にさらに150m以上拡大することが確認された。この北東分布域は、カルデラ形成に伴う推定断層上に位置する可能性が示唆された。

キーワード：伊豆・小笠原弧，火山フロント，海底カルデラ，硫化物チムニー，断層，黒鉱型鉱床

Formation of the Sunrise deposit, Myojin knoll, Izu-Ogasawara arc, Pacific

Kokichi IIZASA^{*2}

A huge sulfide mound (Sunrise deposit) of at least 400 m by 400 m across and 30 m high, associated with black-smoker venting and inactive sulfide chimneys and massive sulfides significantly rich in Au, Ag, Zn, Fe, Cu and Pb, and vent biota, was discovered in a submarine rhyolite caldera, Myojin knoll, located on the volcanic front in the northern Izu-Ogasawara arc. The Sunrise deposit of Kuroko-type is further extending to a northeast area which could be distributed on an inferred caldera boundary fault. This suggests that there are some undiscovered sulfide deposits on the inferred caldera boundary fault.

Key words: Izu-Ogasawara arc; Volcanic front; Myojin knoll caldera; sulfide chimney; fault; Kuroko-type deposit

*1 工業技術院地質調査所

*2 Geological Survey of Japan

1. はじめに

伊豆・小笠原弧の火山フロントの明神海丘カルデラにおいて、黒鉱型鉱床(サンライズ鉱床)が1997年に発見された(Iizasa et al., 1999)。それ以降、しんかい2000を用いた鉱床調査が精力的に実施されてきた。本年1999年の潜航調査では、鉱床の分布、構造、及び硫化物マウンドの形成機構を明らかにするために、鉱床の北東延長部の調査、崖の分布及びマウンド周辺部の崩落地の調査を実施した。これにより、サンライズ鉱床の成因を考察する上で貴重なデータが得られた。

ここでは、明神海丘カルデラのサンライズ鉱床における硫化物の分布及び鉱床の成長過程に関して、1992年以降のしんかい2000の調査により得られたデータと併せて考察する。

2. 地形・地質概要

フィリピン海プレート東縁に位置している南北に延びる伊豆・小笠原弧北部には、東から新黒瀬海嶺、火山フロントの七島・硫黄島海嶺及び西七島海嶺が特徴的な海底地形として存在している。同島弧には、南北に連なる七島・硫黄島海嶺と北東-南西方向に伸びる雁行海山群の西七島海嶺の間にいくつかの背弧凹地が存在する(玉木ほか, 1981)。明神海丘の北西方には、青ヶ島リフトの東端の北東走向を示す正断層が存在する(Murakami, 1996)。

サンライズ 鉱床が発見された、東京の南方約400kmに位置する第四紀の明神海丘カルデラ(村上・石原, 1985)は、雁行海山群のひとつの北東延長部が火山フロントに交わる所に位置している(図1)。明神海丘カルデラは、SiO₂ (71 wt%以上)に富みまた著しくK₂O(1 wt%以下)

が低い流紋岩や同質の軽石及び凝灰岩を主体にする(湯浅・村上, 1989; Yuasa et al., 1991; 湯浅, 1995; Iizasa et al., 1997)。カルデラ壁上部は軽石堆積物から、また、カルデラ壁下部は、カルデラ西部や中央火口丘に見られる流紋岩溶岩とカルデラ東部に存在する凝灰角礫岩や凝灰岩から構成されている。カルデラ縁は、東西7km南北6km程でやや楕円形を示し、その水深は520mから880mの範囲にある(図2)。このカルデラ縁には4つの高まりがあり、また、最浅部は西部に位置する約350mの外輪山である。カルデラ床は、東西4km南北3km程で水深1350~1400mにわたっている。このカルデラ床には、その中心よりやや南西より水深約1100mの頂部を持つ中央火口丘が存在するため、カルデラ床の平坦部の幅は、南部から時計回りに次第に広くなり、東部ではもっとも広く1kmを越える。カルデラ床の最深部は、東部及び北西部にありその水深は約1400mであり、その一部に陥没地形が見られる。

カルデラ床堆積物は、流紋岩質軽石及び火山砂を主体にする。東部及び北西部のカルデラ床には、マンガングラストや不規則な形をした非晶質マンガン水酸化物の沈殿物が分布している(飯笹ほか, 1995)。サンライズ鉱床は、カルデラ床南東縁辺部に位置している。鉱床の北東約1kmの水深1200~960mのカルデラ壁には、流紋岩質の凝灰岩層を挟在する白色に変質した凝灰角礫岩層が存在する。この白色変質帯の上部及び下部の境界は鮮明ではないが、その上位には層状及びマンガンの被覆を受けた角礫状の露岩域及び砂泥質層が分布している。この変質帯は、セリサイト成分に富むセリサイトーモンモリロナイト混合層鉱物、緑泥石、石英、磁鉄鉱、燐灰石及び約5wt%以上の硫化物(方鉛鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、銅藍、輝銀鉱)、白鉛鉱、重晶石やルチルを含んでいる(飯笹ほか, 1995)。このセリサイトーモンモリロナイト混合層鉱物は、鉱床の北西端において採取された鉱染状硫化物を含む変質凝灰岩中にも見られる(Iizasa et al., 1997)。また、北西部、南西部のカルデラ壁そして中央火口丘の北東部及び南西部にも小規模な白色変質帯が存在している。

3. サンライズ鉱床の分布・地形的特徴

1998年までのサンライズ鉱床における潜航調査結果は、鉱床の規模やチムニーの分布をはじめ熱水活動に伴う地形的特徴を明らかにした。カルデラ床南東縁辺部に位置するサンライズ鉱床には、北西-南東方向に延びる4本の海嶺状地形が存在する。これらの海嶺状地形は、大小の屹立した長柱状、尖塔状及び倒壊した硫化物チムニー群が連なって構成されている。各海嶺間の谷は角礫状塊状硫化物、熱水性マンガン酸化物及び砂泥質堆積物により被われている。海嶺上の各チムニー群は小規模のマウンド地形を呈し、サンライズ鉱床全体は、400m×400mの範囲に高さ30mを越す巨大なマウンド状地形を示している。硫化物チムニー群の中には、チムニーを伴う

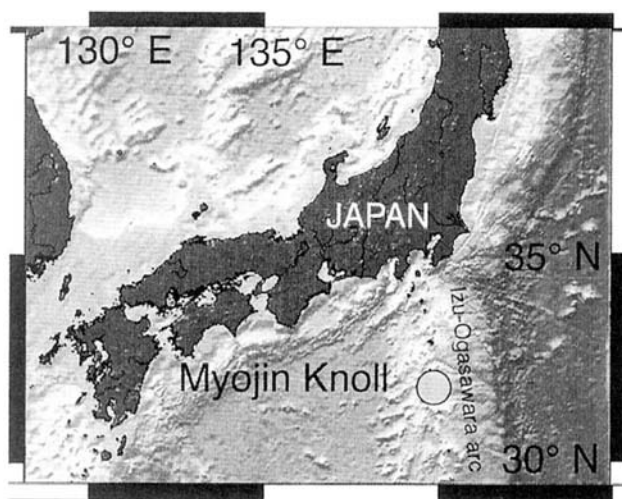


図1 明神海丘の位置図. Topography Version 5.2, SIO, May 29, 1997.

Fig. 1 Location of Myojin Knoll and map based on Topography Version 5.2, SIO, May 29, 1997.

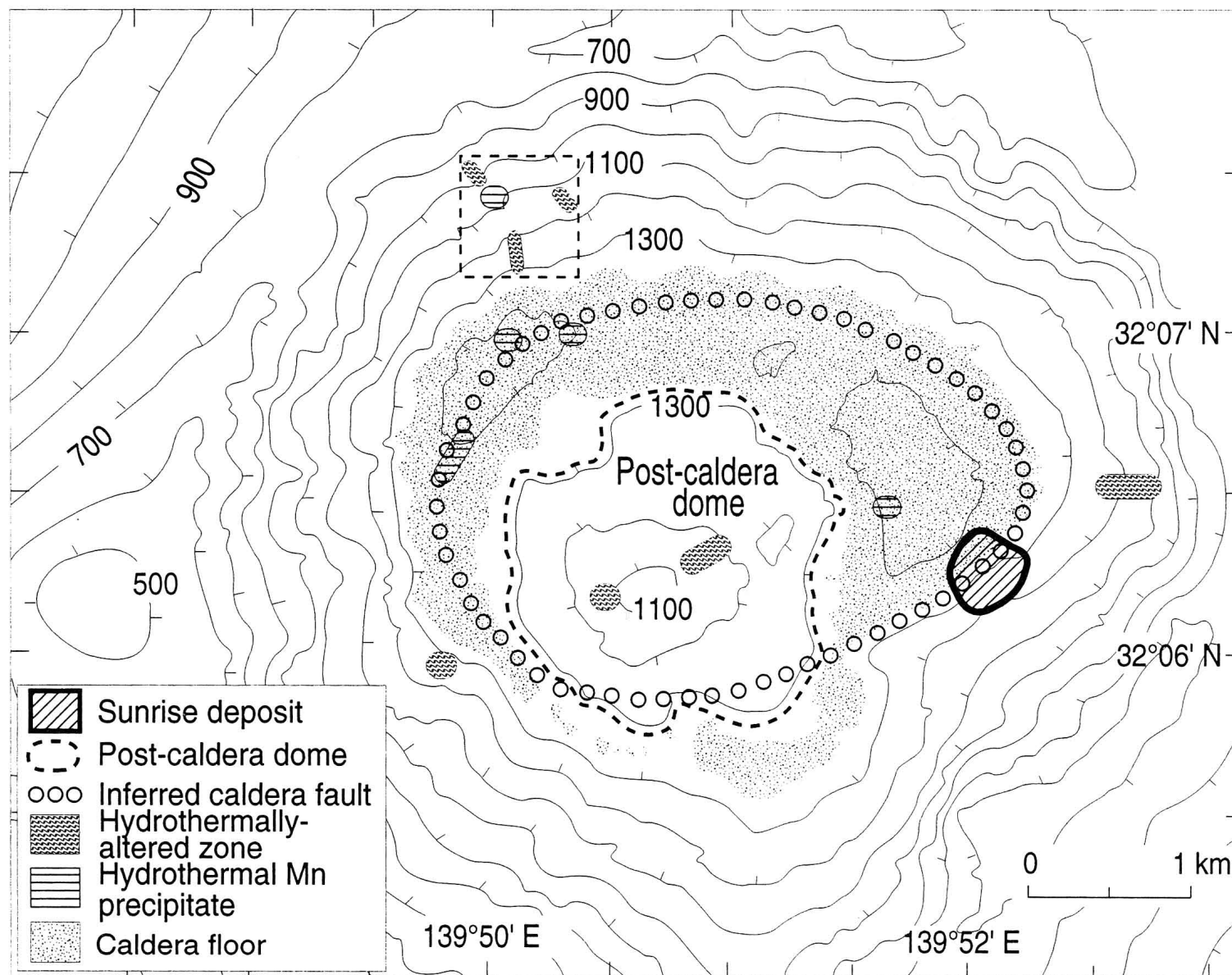


図2 明神海丘カルデラの海底地形図及び熱水活動に伴う沈殿物の分布.

Fig. 2 Bathymetric map of Myojin knoll caldera and the distribution of hydrothermal products. Dashed rectangle on the NW caldera wall encloses an active hydrothermal field. Contour interval, 100 m.

マウンド地形の一部に亀裂が入り片側が崩れ落ち、そのマウンド断面には、シリカや軽石を伴う層と硫化物から構成された層状硫化物とその下部の角礫状の塊状硫化物との堆積構造が見られる。硫化物チムニー群によって形成される海嶺のひとつは、カルデラ床の水深1370mから現れ、1220mのカルデラ壁下部まで少なくとも400m以上連続して分布している。この海嶺状を示すチムニー群は、カルデラ床に最も近い所では幅およそ2～3m高さ1mの小マウンド状を示し、高さ数十cmほどのチムニーを数本伴っている(写真1)。一方、同じ海嶺上の1250m付近では海嶺の幅が20m以上に広がり、高さ15m以上に巨大化した多数のチムニーの下部が、結合して巨大な壁を形成している(写真2)。観察したチムニーの約7割は、すでに活動を停止しているが、ゆらぎや最高278度の黒色の熱水を噴出する高さ30mに達するチムニーも存在する(写真3)。鉱床内の北西部には、厚さ1cmのマンガングラスト及び高さ10cm程のマンガンチムニーが分布している。

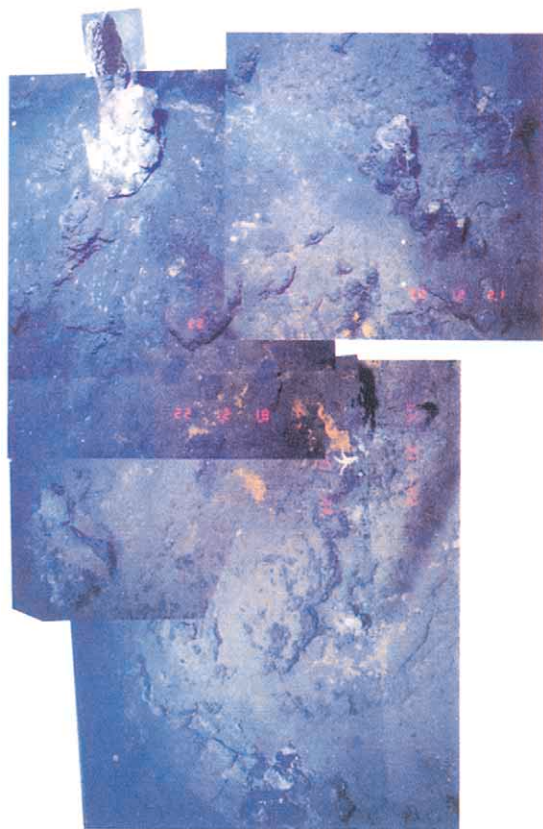


写真1 鉱床縁辺部の小マウンドを形成する高さ1m以下の活動的な硫化物チムニーと倒壊したチムニー。

Photo 1 Active and collapsed small sulfide chimneys on a small sulfide mound of about 2-3 m in diameter in a periphery of the Sunrise deposit.

1999年の1117潜航調査により、従来の鉱床の分布は、北東部にさらに150m以上に亘り広がっていることが判明した(図3)。この北東部に存在するチムニー群は、倒壊した結果、高さ約1m程の海嶺状地形を呈している。特に、鉱床内や縁辺部に存在する倒壊したチムニーは、その形は明らかにチムニーの形態を示している。しかし、鉱床縁辺部から離れるにしたがい、倒壊したチムニーの形が不明瞭となり角礫状の集合体から構成されるようになり、もはや熱水生物も存在していない。この北東部における産状は、熱水活動の中心が次第に南西部に移動してしまったことを示唆している。

これまでの調査で得られた硫化物の分布・産状は、推定されるカルデラ断層付近に熱水活動が集中的に生じていることを示している。そして、これらの硫化物は明らかにカルデラ壁からもたらされた崖錐に埋積され、海水による酸化から隔離されつつあることを示している。



写真2 鉱床中心部付近の高さ15m以上の硫化物チムニー群。チムニー上の白色部は熱水生物群集が棲息していることを示している。

Photo 2 Sulfide chimneys of more than 15 m high near the center of the deposit. Hydrothermal biota on the chimneys as white color.



写真3 鉱床中心部付近の278度の黒煙を噴出している高さ30mに達する巨大な硫化物チムニー(大明神)。白色部は熱水生物群集が付着していることを示している。

Photo 3 A 30-m-high sulfide chimney (Daimyojin) jetting hydrothermal fluid of 278. C occurs on the center of the deposit. Hydrothermal biota on the chimneys as white color.

4. 硫化物マウンドの成長過程

サンライズ鉱床を形作っているマウンドは、数mから数十mの径を示す小マウンドが連なり、およそ北西-南東方向に伸びる海嶺状地形の集合体から構成されていることが、これまでの調査で明らかになっている。

鉱床内の北西縁辺部に見られる小マウンドの表面には、網状の裂隙が発達している。そこでは、裂隙に沿って成長する硫化物チムニーを観察することができる。このチムニーの基部は融合し、さらに大きなチムニーを形成し屏風状の形態を示している。これらのチムニーが成長するに従い、チムニー周辺に噴出した熱水から沈殿物を周辺に堆積させたり、形成途中のチムニーが倒壊してマウンドを形作っていく(図4)。巨大チムニーを載せているマウンド周辺では、その一部が崩落した結果、マウンド内部の堆積構造を見ることができる。そこでは、角礫状硫化物の層や熱水変質した軽石とともに硫化物が鉱染した層が観察できる。このことから、マウンドの成長には活動的な時期と活動が低下する時期とがあり、非活

動的な時には硫化物チムニーの倒壊や軽石の堆積によって硫化物は、海水から隔離されるとともにマウンドの形成にも一役買っていることが推測される。一方、活動的な時期には、その軽石層に熱水溶液が浸透して硫化物を沈澱させながら、その上位に硫化物マウンドを成長させていくという成長過程が推察される。

熱水活動が活発であるか、あるいは継続的な場所に形成されるマウンドは、当然巨大になる。それが、サンライズ鉱床内に見られる大明神周辺である。しかも、マウンド断面に見られる硫化物の鉱染を受けた軽石層の存在は、マウンド深部においても熱水溶液が軽石層に浸透することにより硫化物の沈澱を生じていることが暗示される(図5)。

明神海丘のカルデラ床を構成しているのは大部分が軽石であることから、鉱床深部にはさらに硫化物が存在することは十分考えられる。

5. サンライズ鉱床内の急傾斜地

サンライズ鉱床におけるしんかい2000の調査により、鉱床の南東部にカルデラ縁と調和的な北東-南西の走向を持つ、ほぼ垂直に切り立つ最大40mを越える高さの崖の存在が明らかになっている。この垂直の崖の表面には、熱水域に棲息しているフジツボ類が網状に分布している。また、崖のテラス付近には、白色の水平層とその内部に茶褐色を示す角礫状の岩石が所々に存在している。この崖の面と同方向の走向を示す30度前後の多くの急傾斜地は、鉱床内の海嶺状地形を寸断するような産状を示している。この傾斜地の見かけの落差は、硫化物チムニー群の発達の良い場所付近で最も顕著である。このような場所は、角礫状の硫化物や倒壊したチムニー片及び軽石に被覆されている。

6. おわりに

サンライズ鉱床の硫化物マウンドは、非活動的な時には、軽石による被覆が優勢であり、硫化物を海水から隔離する。そして、活動的な時期には、軽石堆積層に熱水溶液が浸透して硫化物を沈殿させると共に、マウンド上にチムニーを形成する。これらの熱水活動の消長が、マウンドの成長を促していることが明らかになった。

金・銀に富むサンライズ鉱床の規模は、従来判明していた幅約400m長さ400mよりさらに北東部へ150m程広がっていることが確認された。この北東方向の分布は、推定されるカルデラ形成時の断層上に位置することが強く示唆される。このことは、明神海丘内のカルデラ床縁辺部の推定カルデラ断層上に、さらに同様の硫化物鉱床が存在する可能性が高いことを示唆するだろう。

謝 辞

「しんかい2000」運航チームならびに母船「なつしま」の乗組員の方々に大変お世話になった。以上の方々に、ここにお礼を申し上げます。

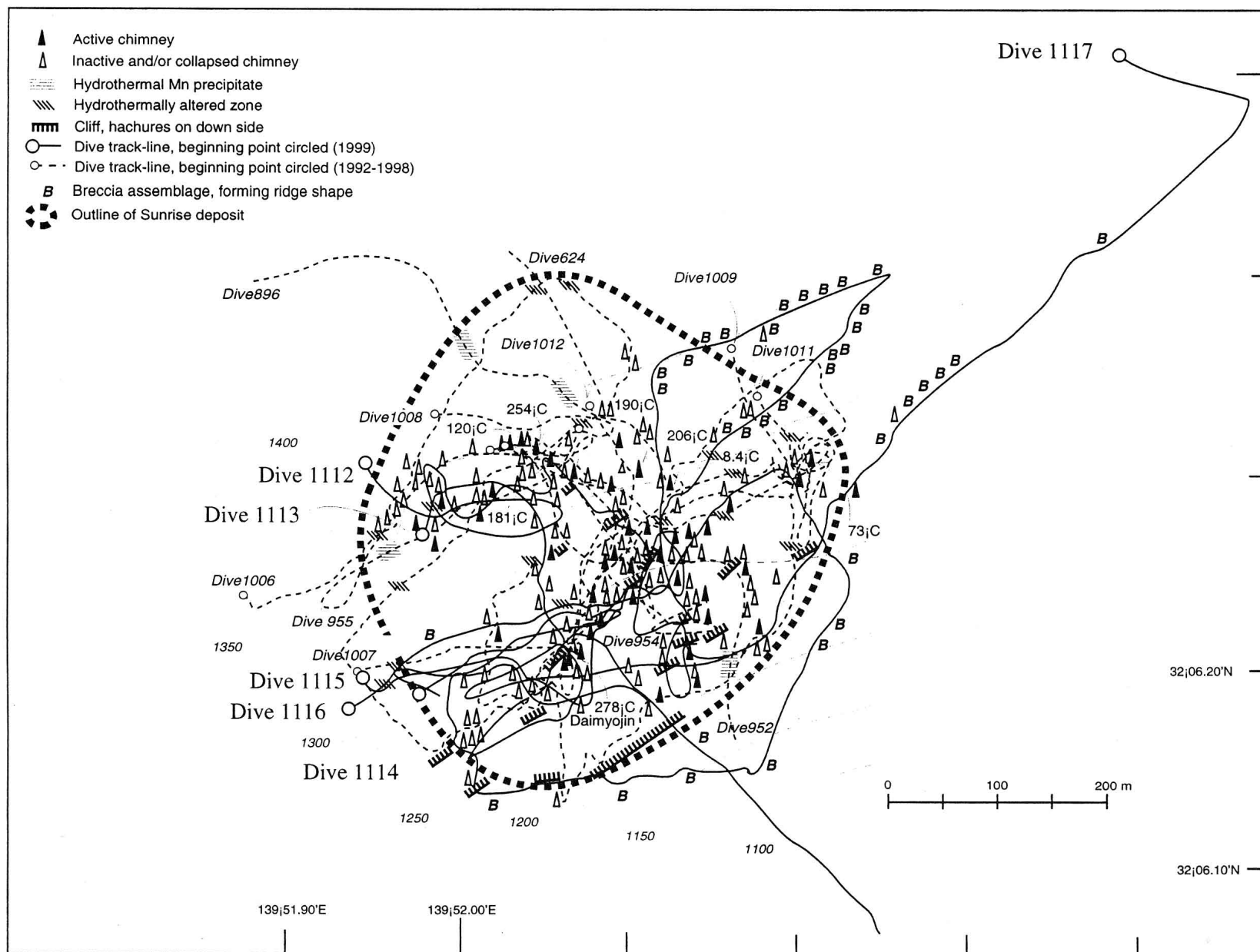


図3 明神海丘カルデラのサンライズ鉱床におけるしんかい2000による航跡及び熱水活動に伴う硫化物チムニーの分布。

Fig. 3 Distribution of hydrothermal sulfide chimneys and manganese, and bottom surface occurrences along Shinkai 2000 track lines since 1992.

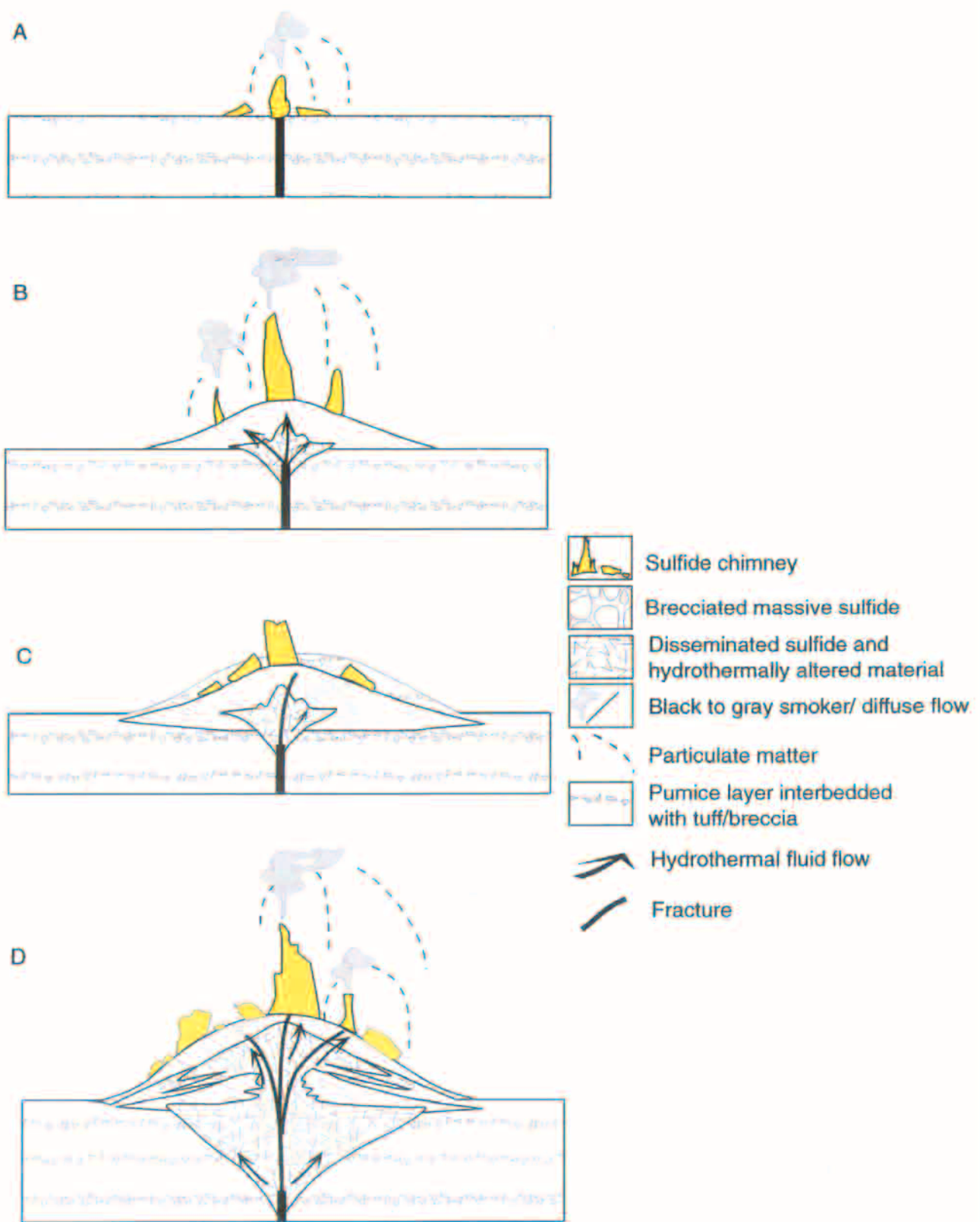


図4 サンライズ鉱床における硫化物マウンドの成長過程
Fig. 4 Schematic diagram of the inferred development of sulfide mounds.

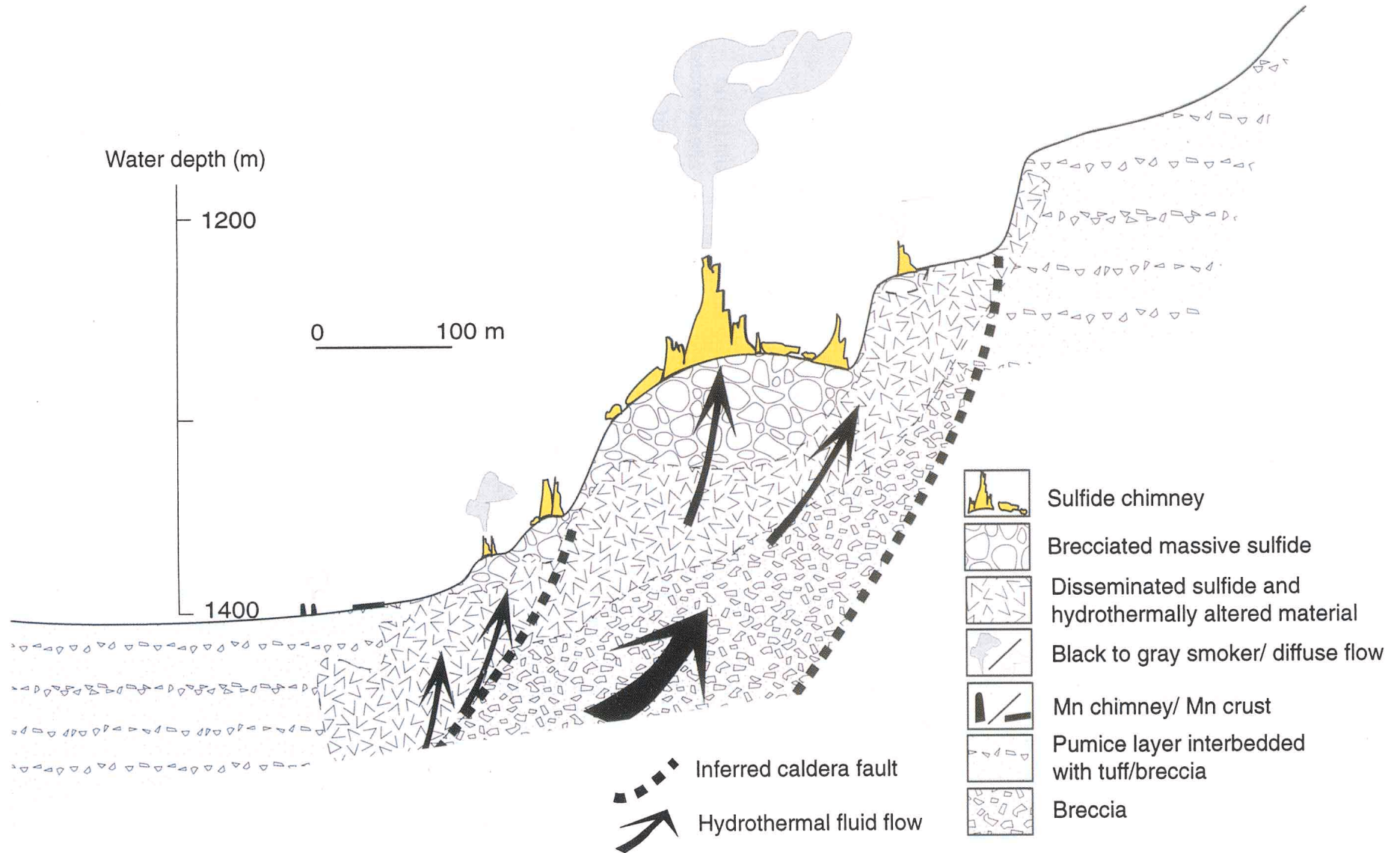


図5 サンライズ鉱床の推定断面図

Fig. 5 Inferred schematic cross-section of the Sunrise deposit showing the vertical zonation and hydrothermal fluid flow.

参考文献

- 1) Iizasa, K., Fiske, R.S., Ishizuka, O., Yuasa, M., Hashimoto, J., Ishibashi, J., Naka, J., Fujiwara, Y., Imai, A. and Koyama, S. A Kuroko-type polymetallic sulfide deposit in a submarine silicic caldera, *Science*, **283**, 975-977 (1999).
- 2) 飯笹幸吉・R. S. Fiske・仲 二郎・角皆 潤, 明神海丘(北ベヨネース海底カルデラ)の熱水活動に伴う鉱化作用. *AMSTEC深海研究*, **11**, 341-350(1995).
- 3) Iizasa, K., Terashima, S., Sasaki, M. and Marumo, K. Volcanic-hosted sulfide-barite deposit from the Kita-Bayonnaise submarine caldera, Izu-Ogasawara arc, northwestern Pacific, *Mar. Georesources Geotechnology*, **15**, 1-20 (1997).
- 4) Murakami, F. Seismic stratigraphy and structural characteristics of back-arc rifts on the Izu-Ogasawara arc, *The Island Arc*, **5**, 25-42 (1996).
- 5) 村上文敏・石原丈実, 小笠原島弧北部で発見された海底カルデラ。月刊地球, **7**, 638-646(1985).
- 6) 玉木賢策・井上英二・湯浅真人・棚橋 学・本座栄一, 小笠原弧の第四紀背弧拡大活動の可能性について, 地球, **3**, 421-432(1981).
- 7) 湯浅真人, 「しんかい2000」による海底軽石火山の観察: 明神海丘潜航調査, 火山, **40**, 277-284(1995).
- 8) 湯浅真人・村上文敏, 小笠原弧の地形・地質と孀婦岩構造線。地学雑誌, **94**, 47-66(1985).
- 9) Yuasa, M., Murakami, F., Saito, E. and Watanabe, K. Submarine topography of seamounts on the volcanic front of the Izu-Ogasawara (Bonin) arc, *Bull. Geol. Surv. Japan*. **42**, 703-743 (1991).

(原稿受理: 2000年1月6日)