

鹿児島湾奥部海底に有望なレアメタル鉱床を確認

地球化学・鉱床学グループ

研究代表者：山中寿朗（岡山大学大学院自然科学研究科・准教授）

共同研究者：千葉 仁（岡山大学大学院自然科学研究科・教授）

小見山力多（元 岡山大学理学部・学生）

石橋純一郎（九州大学大学院理学研究院・准教授）

村上浩康（産業技術総合研究所企画本部・企画主幹）

三好陽子（九州大学大学院理学府・院生）

前藤晃太郎（元 岡山大学大学院自然科学研究科・院生）

藤野恵子（元 九州大学大学院工学府・院生）

岡村 慶（高知大学海洋コア総合研究センター・准教授）

野口拓郎（高知大学海洋コア総合研究センター・研究員）

松倉誠也（元 九州大学理学部・学生）

山下 透（元 九州大学理学部・学生）

中島美和子（元 九州大学大学院理学府・院生）

自律型海中ロボットグループ

研究代表者：浦環（東京大学生産技術研究所・教授）

共同研究者：中谷武志（海洋研究開発機構・研究員）

1. 概要

岡山大学大学院自然科学研究科（研究科長：則次俊郎）は、2007年6月に鹿児島湾湾奥部（図1参照）にチムニー（注1）を伴って200℃近い温度の熱水が活発に湧出する海底温泉（熱水噴出孔：注2参照）を発見して以来、東京大学生産技術研究所、九州大学、高知大学、産業技術総合研究所等と共同して、同海域における熱水鉱床形成の可能性について調査を進めてきました。調査は、岡山大学を中心とした地球化学・鉱床学グループによる同海域から採取した試料の分析と、東京大学生産技術研究所による自律型海中ロボットを使った熱水噴出孔周辺の詳細地形探査を平行して行うものです。

これらの調査の結果、同海域の熱水噴出孔の下部にはレアメタルの一つアンチモンの硫化物である輝安鉱（注3）の塊が多数露出しており、これらは元々海底で生成したものであることが確認されました。付近で採取した最大6m長の柱状堆積物試料中にも輝安鉱が頻繁に見出されることとあわせて、同海域の海底には広く輝安鉱が分布し、鉱床をなしていると期待されます。

鉱床は、鹿児島湾湾奥部東側の若尊と呼ばれる水深200mの凹地地形内の熱水噴出孔を中心とした直径1.5km程度の範囲に厚さ5m程度で分布すると考えられ、それを元に算出した輝安鉱を含む鉱体の埋蔵量は1500万トン程度、品位6%Sb（アンチモンとして90万トン）と推定されます（図2参照）。国内で昨年一年間に販売されたアンチモンは約5千トンであり、埋蔵量はその180倍に達します。また、この輝安鉱は平均20ppmの濃度で金を含んでいることから、金の埋蔵量は25トン程度（1.67g/t Au）と推定されます。

日本には鹿児島湾湾奥部に存在するような海底火山は多数あり、同様な鉱床が未発見のまま残されていると期待されます。本海域における鉱床の成因や分布形式を明らかにすることで、日本固有の資源の正確な埋蔵量の推定および開発に大きく貢献するものと期待されます。また、自律型海中ロボットによって1mm程度の高解像度写真を連続的に撮影し、数千m²の領域にわたって深海底をくまなく観測することに成功したことも、本発見に大きく貢献しました。本観測手法が確立したことによって、新たな熱水鉱床の発見および開発が促進されます。

2. 鉱床発見に至った経緯

本海域において、2007年6月に行われた独立行政法人海洋研究開発機構所属の無人潜水艇「ハイパードルフィン」とその支援母船「なつしま」の調査の際、180℃を超える高温の熱水を噴出する熱水噴出孔とそれに伴

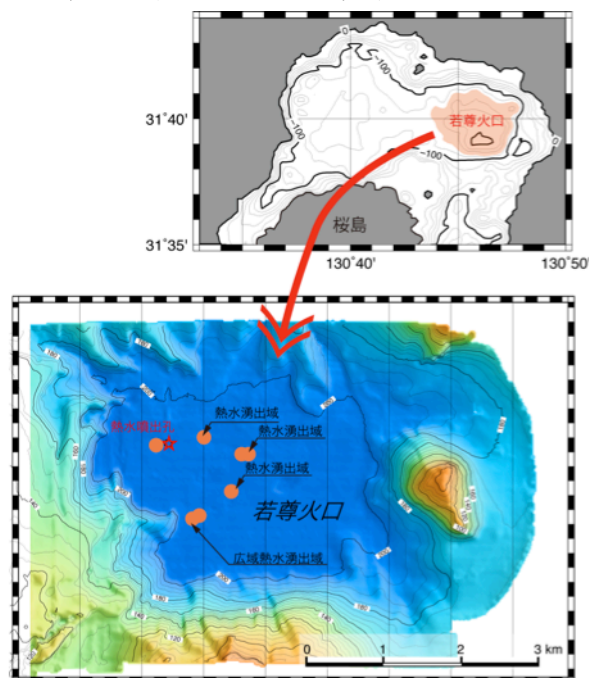


図1 鹿児島湾湾奥部に位置する活火山「若尊」（若尊火山）の位置と地形および熱水の湧出位置

うチムニーと呼ばれる熱水からの沈殿物からなる煙突状の構造物を一カ所で発見し、引き続き 8 月に行われた海洋研究開発機構所属の「淡青丸」から降ろされた、自律型海中ロボット「ツナサンド」によって、さらに二カ所からチムニーを伴う熱水噴出孔と、一カ所の倒壊したチムニーと熱水の揺らぎを発見し、同年 9 月に本大学および東京大学において山中、浦らが共同記者発表を

行いました。熱水性沈殿物を伴う熱水活動は、鉱床の形成が起こりつつある場所と考えられ、本海域においても鉱床の存在が期待されるに至りました。

そのため、2008 年以降も引き続き無人潜水艇「ハイパードルフィン」および自律型海中ロボット「ツナサンド」をもちいた調査が行われてきました。ツナサンドによる海底観察により、チムニーは直径 30cm 程度の泥の塊のような礫が積み重なり盛り上がった海底（以下マウンドと呼びます）上に形成していることがわかり（写真 1 参照）、ハイパードルフィンによってこのマウンドの礫（写真 2）を採取しました。この礫を調べたところ、礫の大部分が輝安鉱からなる硫化物の塊であること、また、金を含むことが分かりました。通常、チムニーの下にあるマウンドは、崩落を繰り返しながら成長するチムニーの崩落片が積み重なって形成されますが、本海域のチムニーは硫化物をあまり含まないことから、この硫化物塊は崩落したチムニーが溜まったものとは言い難く、その形成条件について検討する必要がありました。

そこで、2010 年度に岡山大学理学部地球科学科の小見山

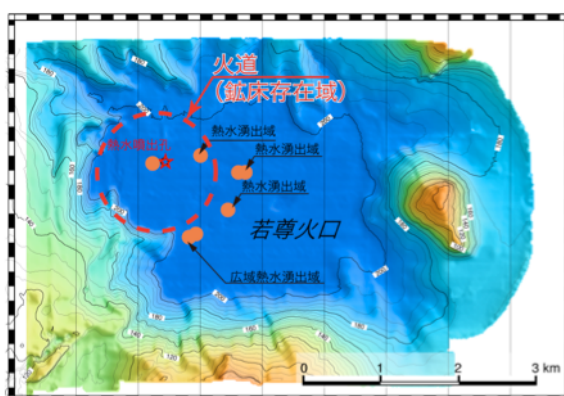


図 2 若尊火口北西に位置する火道と考えられる地形の中および周囲に鉱床が存在すると考えられる

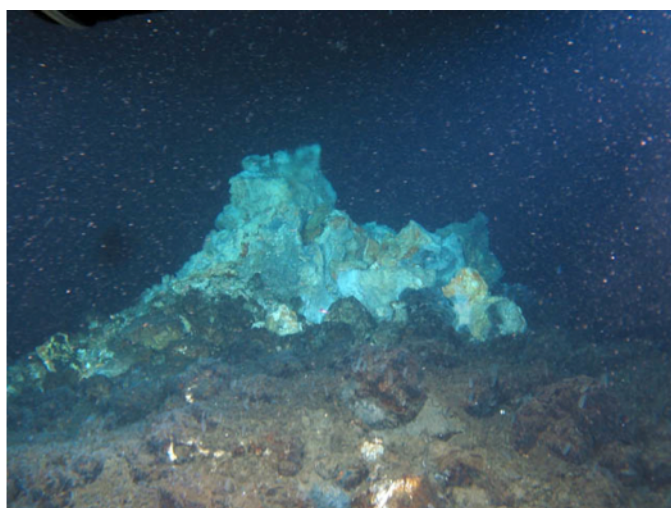


写真 1 白色の熱水性沈殿物からなるチムニー部と黒色の礫が積み重なったマウンド部が認められる。

力多（こみやま りょうた）君が卒業研究課題として産業技術総合研究所の村上浩康企画主幹らとともにこの硫化物塊について EPMA（注 4）や LA-ICP-MS（注 5）などを用いた詳細な分析を行いました。分析の結果、この硫化物塊はもともと海底面下で形成したものであることが分かりました。

また、無人潜水艇や自律型海中ロボットを使った調査と平行して「淡青丸」によってピストンコア採泥（注 6）を 2007 年、2008 年におこなっています。同海域の広い範囲で採取した長さ最大 6m のコア試料中には度々輝安鉱の脈が見られ（写真 3 参照）、海底下で輝安鉱が熱水から沈殿している様子がうかがえます。

3. 鉱床の成因と分布

以上の分析結果や観察事実から、本海域の熱水活動は、若尊火口内に広く分布しており、中でも、この火口底北西部の地形的に火道に相当する場所を中心としていることがわかりました（図 2 参照）。この火道に相当する部分の中心付近に熱水噴出孔が位置し、縁辺部に多くの熱水の染みだし域が分布しています。九州大学の藤野恵子による地中熱の観測もこの範囲は周辺より高くなっていることと一致します。これまでの採泥調査から、この火道



写真2 マウンドから採取された輝安鉱の塊
（大きい方の塊の長辺は約 20cm）

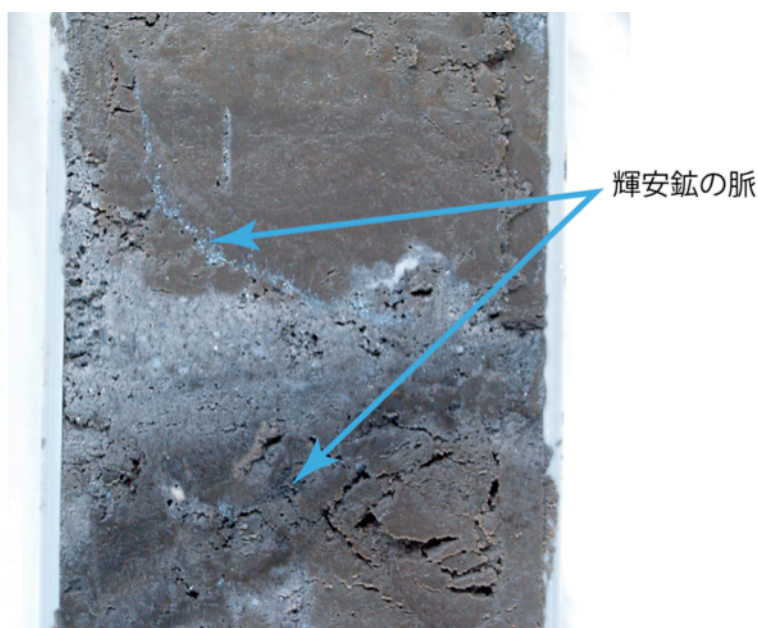


写真3 ピストンコア試料中に
度々見られる輝安鉱の脈

域およびその周囲の熱水湧出域より東側および南東側では、堆積物中に輝安鉱が認められないことから、この火道に相当する場所で熱水から多量の輝安鉱の沈殿が起きていると結論づけました。また、火道域の柱状堆積物試料の分析から少なくとも堆積物の厚さ5m程度にわたって輝安鉱

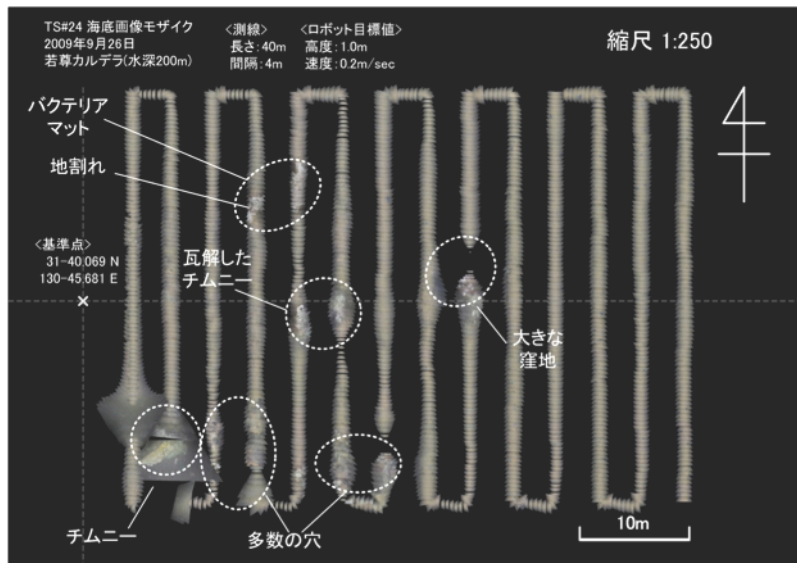


写真4 「ツナサンド」で得られた海底の詳細モザイク画像

が認められます。すなわち、チムニーの下に存在するマウンドだけが硫化物なのではなく、海底面下に輝安鉱を主体とする鉱床が眠っている可能性が極めて高いと考えられます。火道は直径1.5km程度の円に近似でき、海底から厚さ5m程度で分布し、密度はおおよそ 2g/cm^3 、アンチモン濃度は45重量%から4重量%で、平均6重量%であることから、輝安鉱を含む鉱体の埋蔵量は1500万トン程度、アンチモンとして90万トンの埋蔵量と見積もられます。

熱水噴出孔周辺にこの輝安鉱の塊が露出しているのは、同海域で時に小規模な水蒸気爆発のような噴火活動が起こっており、その際に元々海底面下に存在したものが海底面に噴出したと推定されます。実際、この間にツナサンドによって得られた海底映像から、チムニー周辺には直径数mの窪地や変色域などが認められ（写真4参照）、付近での小規模な噴火活動により海底面が乱されている様子がうかがえます。熱水噴出孔は、海底面に熱水が活発に噴出することで海底面上にチムニーを形成しますが、海底面下で形成した輝安鉱の塊を噴出した通路を通して、この熱水も噴出しているものと考えられます。

4. これまでの調査に当たって

これまでに行われた本研究と関連する航海は次の通りです。
学術調査船「淡青丸」

KT07-3 次航海：主席研究員・清川昌一准教授（九州大学）、観測項目・ピストンコア採泥

KT07-20 次航海：主席研究員・浦 環教授（東京大学）、「ツナサンド」展開

KT08-9 次航海：主席研究員・山中寿朗准教授（岡山大学）、ピストンコア採泥

KT08-22 次航海：主席研究員・浦 環教授（東京大学）、「ツナサンド」展開

KT09-19 次航海：主席研究員・浦 環教授（東京大学）、「ツナサンド」展開

KT10-20 次航海：主席研究員・巻 俊宏助教（東京大学）、「ツナサンド」展開

無人潜水艇「ハイパードルフィン」および支援母船「なつしま」

NT07-9 次航海：主席研究員・山中寿朗准教授（岡山大学）、チムニーの発見

NT08-17 次航海：主任研究員・窪川かおる教授（東京大学）、硫化物塊試料採取

NT10-5 次航海：主席研究員・石橋純一郎准教授（九州大学）、硫化物塊試料採取

これらの調査航海にあたって、淡青丸船長（鈴木 祥市、藤田 潮、清野 能稔）、なつしま船長（石渡 正善、鮫島 耕児、須佐美 智嗣）、ハイパードルフィン運航長（光藤 数也、大野 芳生）および船員の皆様やハイパードルフィン運航チームの皆様には大変お世話になりました。

解説

注1 チムニー

熱水噴出孔から噴き出した熱水が急激に周囲の低温の海水と混合することでそれまで溶けていた化学成分が急速に析出し、噴出孔の周囲に沈殿し、形成する煙突状の構造物。

注2 熱水噴出孔

熱水とは、温泉のように周囲の温度より高い温度の水を指すが、海底面から噴出する前に、周囲の岩石と十分に化学反応を経ているものについては温泉ではなく熱水と呼ぶ。熱水噴出孔はこの熱水を吹き出す海底の孔。

注3 輝安鉱

アンチモン(Sb)の硫化物で化学式は Sb_2S_3 。針状の結晶で、日本刀のような金属光沢をもつ。

注4 EPMA

電子プローブマイクロアナライザー (Electron Probe Micro Analyzer) の略称。加速した電子線を物質に照射 (電子線による励起) することにより発生する特性 X 線のスペクトルに注目し、電子線が照射されている微小領域 (およそ $1\mu\text{m}^2$) に於ける構成元素の検出及び同定と、各構成元素の比率 (濃度) を分析する装置であり、固体の試料をほぼ非破壊で分析することが可能。

注5 LA-ICP-MS

レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置 (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) の略称。固体試料表面にレーザー光を集光して照射し、蒸発・微粒子化した試料をキャリアガスによりプラズマ内に導入して分解、イオン化する。生成したイオンを質量分析計で測定する。レーザー光が照射された領域が分析対象となるため、局所的な情報を得ることができる。

注6 ピストンコア採泥

重りの下に適当な長さの中空のステンレス管やアルミ管をつけた槍状の装置を海底に突き刺すことで柱状の非攪乱堆積物試料を採取する装置である、ピストンコアラーを用いて行う海底泥採取法のこと。

注7 ツナサンド

Tuna-Sand (ツナサンド) : ホバリング型の自律型海中ロボット (AUV: Autonomous Under Water Vehicle)。2007 年に初潜航をおこなっている。海底に接近して海底や沈没船の写真撮影することを主務とする。空中重量約 250kg、最大潜航深度 1,500m、潜航時間約 7 時間、毎秒数十 cm の速度で海底の写真撮影する。これまで、ベヨネース海丘、明神礁、黒島海丘、上越海丘などに潜航している。

連絡先

1) 地球化学・鉱床学グループ

岡山大学大学院自然科学研究科

准教授 山中 寿朗

〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1

電話：086-251-8503

E-mail：toshiroy@cc.okayama-u.ac.jp

2) 自律型海中ロボットグループ

東京大学生産技術研究所海中工学国際研究センター

教授 浦 環

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

電話：03-5452-6487

E-mail：ura@iis.u-tokyo.ac.jp