# 南鳥島沖の「超高濃度レアアース泥」は地球寒冷化で生まれた


**１．発表者：**

大田　隼一郎（東京大学大学院工学系研究科附属エネルギー・資源フロンティアセンター　助教
／千葉工業大学次世代海洋資源研究センター　招聘研究員）
安川　　和孝（東京大学大学院工学系研究科附属エネルギー・資源フロンティアセンター　講師
／千葉工業大学次世代海洋資源研究センター　招聘研究員）
野崎　　達生（海洋研究開発機構海洋機能利用部門海底資源センター　グループリーダー代理／
神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻　客員准教授／
千葉工業大学次世代海洋資源研究センター　招聘研究員）
髙谷　雄太郎（早稲田大学理工学術院総合研究所　主任研究員・研究院准教授／
海洋研究開発機構海洋機能利用部門海底資源センター　招聘主任研究員／
千葉工業大学次世代海洋資源研究センター　招聘研究員）
見邨　　和英（東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻　博士課程 3 年生）
藤永　公一郎（千葉工業大学次世代海洋資源研究センター　上席研究員）
中村　謙太郎（東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻　准教授）
臼井　　洋一（海洋研究開発機構海域地震火山部門火山・地球内部研究センター　研究員）
木村　　純一（海洋研究開発機構海域地震火山部門火山・地球内部研究センター　上席研究員（シニア））
常　　青（海洋研究開発機構海域地震火山部門火山・地球内部研究センター　主任研究員）
加藤　　泰浩（東京大学大学院工学系研究科附属エネルギー・資源フロンティアセンター／
システム創成学専攻　教授／
千葉工業大学次世代海洋資源研究センター　所長／
海洋研究開発機構海洋機能利用部門海底資源センター　招聘上席研究員）


**２．発表のポイント：**

- ◆ 南鳥島沖の排他的経済水域内に分布する海底鉱物資源「超高濃度レアアース泥」が、約 3,450 万年前に起こった地球の寒冷化に伴って生成したことを明らかにしました。
- ◆ この発見は、海洋大循環の変動と巨大な海山群の存在が現代社会を支えるレアアース元素の有望な資源を生み出すトリガーとなっていたことを示す世界初の証拠です。
- ◆ 今回の発見によって、超高濃度レアアース泥が巨大な海山のふもとに出来やすいことが明らかとなり、今後の海洋資源探査における重要な指針になると期待されます。

**３．発表概要：**

東京大学大学院工学系研究科の加藤泰浩教授を中心とする研究グループは、2013 年に南鳥島沖の排他的経済水域内で、有望な海底鉱物資源「超高濃度レアアース泥（注 1）」を発見しました。この超高濃度レアアース泥は、レアアース（注 2）を濃集する魚の骨を大量に含んでいます。しかし、そのような大量の魚の骨が、いつ、どのようにして堆積したのかは、依然として謎に包まれていました。今回、本研究グループは、魚の歯の化石と海水中の極微量元素であるオスミウムの同位体比（注 3）を組み合わせた年代決定法を用いて、超高濃度レアアース泥が約 3,450 万年前に生成したことを突き止めました。この時代は地球規模の寒冷化の開始時期にあたり、海洋大循環が強まりました。深海底を流れる底層流が巨大な海山にぶつかり湧昇流

（注 4）を発生させ、大量の栄養塩を表層にもたらし、海山周辺で魚類が急激に増えたと考えられます。その結果、魚の骨が大量に海底に堆積し、超高濃度レアアース泥が生成しました。南鳥島を含む現在の北西太平洋から中央太平洋にかけては、大きな海山が多数存在するため、これらの海山の周辺を探査することで新たな超高濃度レアアース泥が発見できると期待されます。

**４．発表内容**：

【研究背景】

レアアースと呼ばれる元素群は、環境、医療、情報などのさまざまな先端技術・ハイテク製品に用いられ、現代社会になくてはならない元素群です。しかし、レアアースの世界生産は中国が大部分を占め、供給構造に大きな脆弱性を抱えています。2019 年には、レアアースを巡る米中間の貿易摩擦が顕在化しました。米国をはじめとする先進諸国はレアアースを「戦略元素」と位置づけ、その新たな供給源の確保を最重要の国家的課題と見なしています。

東京大学大学院工学系研究科エネルギー・資源フロンティアセンターの加藤泰浩教授を中心とする研究グループは、2013 年に南鳥島周辺の日本の排他的経済水域内でレアアースの新資源として有望な「超高濃度レアアース泥」を発見しました。さらに 2018 年には、南鳥島周辺の特に有望な海域（2,500 $km^2$）におけるレアアース資源量が世界需要の数百年分にも達することを報告しました。資源として最も重要なターゲットとなる超高濃度レアアース泥が、広大な海洋のどこに分布しているかを理論的に予測することができれば、効率的な資源探査および開発につながります。そのためには、資源生成のメカニズムの解明が重要な研究課題でした。

本研究グループのこれまでの研究により、超高濃度レアアース泥には、魚の骨の化石（以下、魚骨片）が大量に含まれていることが分かりました（図 1）。生きている魚の骨はほとんどレアアースを含みませんが、魚の死後、海底に堆積した魚骨片は海水からレアアースを非常に高濃度になるまで濃集します。ところが、そのような大量の魚骨片が、いつ、どのようにして南鳥島沖の海底に降り積もったのかは、これまでわかっていませんでした。

【研究内容】

同センターの大田隼一郎助教、加藤泰浩教授らによる本研究では、魚の歯の化石の形状分類に基づく年代決定法と、海水のオスミウム同位体比に基づく年代決定法を組み合わせることで、南鳥島沖で採取された超高濃度レアアース泥を含む堆積物コア（KR13-02 PC05）の堆積年代を決定しました。その結果、超高濃度レアアース泥はおよそ 3,450 万年前に生成したことを突き止めました。得られた堆積年代から、当時の魚骨片の堆積量（面積あたり）を復元したところ、3,470 万年前から 3,440 万年前にかけて、海底に降り積もる魚骨片の量がそれまでの約 6 倍にまで急激に増加したことがわかりました（図 2）。すなわち、超高濃度レアアース泥が生成した 3,450 万年前頃に、南鳥島周辺で魚類が急激に増加したと考えられます。

この時代は、地球全体が温暖な気候から寒冷な気候へと急激に切り替わった時期として知られています。恐竜が絶滅した 6,600 万年前から現在までの新生代と呼ばれる時代のうち、前半は北極や南極にも氷床が存在しない「温室地球」でした。そして、3,400 万年前頃を境に南極大陸に大規模な氷床が発達し、現在のように両極に氷床が存在する「寒冷地球」へと、地球の気候モードのシフトが起こりました。超高濃度レアアース泥の生成は、その最初の南極氷床拡大の時期と一致します（図 2）。

以上のことから、本研究グループは次のような資源生成メカニズムを提案しました（図 3）。①氷床が極域に出現すると、極域の海水が冷やされます。②冷たく重くなった海水は深海へと

沈み込んでいき、これにより海洋循環が活発化して、深海底を流れる底層流が強くなります。③太平洋の深海底には、富士山よりも大きな海山が多数存在しています。こうした巨大な海山や海台と呼ばれる地形的高まりに、強化された底層流が衝突すると、湧昇流が発生します。④この湧昇流は、それまでの比較的穏やかな海洋循環の中で海洋深層に蓄積していた大量の栄養塩を一気に海洋表層へともたらし、魚を含む生物活動が急激に活発化します。⑤その結果、大量の魚骨片が海底に堆積し、超高濃度レアアース泥が生成したと考えられます。南鳥島周辺に存在する、拓洋第五海山などの大規模な海山は、この湧昇流の発生に大きな役割を果たしたと考えられます。

本研究では、南鳥島周辺と似た高濃度レアアース泥を含む、中央太平洋から採取された GH83-3 P406 コアおよび南太平洋から採取された Deep Sea Drilling Project (DSDP) Hole 596 コアの分析も行いました。それぞれ同様にして魚骨片の堆積量を復元したところ、中央太平洋のコアでは南鳥島と同様に 3,450 万年前頃に急激な増加がみられましたが、一方で南太平洋のコアでは明瞭な増加はみられませんでした（図 2）。これは、中央太平洋のコア付近にはマニヒキ海台という巨大な海山が存在し、南鳥島と同様のメカニズムで魚の数が増えた一方、南太平洋のコア周辺は地形的高まりのない広大な平原となっており、湧昇流が起こらず魚が増えなかったためと考えられます。

【社会的意義・今後の予定】

本研究の結果から、超高濃度レアアース泥の探査の重要なターゲットとなるのは、深海底にそびえる大規模な海山の周辺であるといえます。南鳥島のある北西太平洋から中央太平洋にかけては、多数の大規模な海山が分布しています（図 4）。今後、これらの海山の近傍を探査することで、超高濃度レアアース泥の新たな分布域を発見することができると期待されます。

**５．発表雑誌**：

雑誌名：「*Scientific Reports*」（オンライン版 6 月 18 日掲載）

論文タイトル：Fish proliferation and rare-earth deposition by topographically induced upwelling at the late Eocene cooling event

著者：Junichiro Ohta, Kazutaka Yasukawa, Tatsuo Nozaki, Yutaro Takaya, Kazuhide Mimura, Koichiro Fujinaga, Kentaro Nakamura, Yoichi Usui, Jun-Ichi Kimura, Qing Chang, Yasuhiro Kato*

DOI 番号：10.1038/s41598-020-66835-8

アブストラクト URL：http://www.nature.com/articles/s41598-020-66835-8

**６．注意事項**：

日本時間 6 月 18 日（木）午後 6 時　（イギリス時間：18 日（木）午前 10 時）以前の公表は禁じられています。）

**７．問い合わせ先**：

＜研究に関して＞

東京大学 大学院工学系研究科附属エネルギー・資源フロンティアセンター

助教　大田　隼一郎（おおた　じゅんいちろう）

Tel：03-5841-7019

E-mail：junichiro.ota@sys.t.u-tokyo.ac.jp

東京大学 大学院工学系研究科附属エネルギー・資源フロンティアセンター
教授　加藤　泰浩（かとう　やすひろ）
Tel：03-5841-7022
E-mail：ykato@sys.t.u-tokyo.ac.jp

＜報道に関して＞
東京大学 大学院工学系研究科 広報室
Tel：03-5841-6295　Fax：03-5841-0529
E-mail：kouhou@pr.t.u-tokyo.ac.jp

千葉工業大学　入試広報課　大橋慶子
Tel：047-478-0222
E-mail：ohhashi.keiko@it-chiba.ac.jp

海洋研究開発機構 海洋科学技術戦略部 広報課
Tel：045-778-5690
E-mail：press@jamstec.go.jp

神戸大学 総務部広報課
Tel：078-803-6678
E-mail：ppr-kouhoushitsu@office.kobe-u.ac.jp

早稲田大学 広報室広報課
Tel：03-3202-5454
E-mail：koho@list.waseda.jp

**８．用語解説**：

（注1） 超高濃度レアアース泥：本研究グループでは、レアアースを含む深海堆積物を、そのレアアース濃度にもとづいて分類しています。総レアアース濃度が 5,000 ppm 以上のものを「超高濃度レアアース泥」、2,000 ppm 以上 5,000 ppm 未満のものを「高濃度レアアース泥」、400 ppm 以上 2,000 ppm 未満のものを「レアアース泥」、400 ppm 未満ものを通常の遠洋性粘土と区分しています。

（注2） レアアース：希土類元素とも呼ばれ、原子番号 57 番のランタンから 71 番のルテチウムまでのランタノイド元素 15 元素に、21 番のスカンジウムと 39 番のイットリウムを加えた計 17 元素の総称です（ただし、原子番号 61 番のプロメチウムは自然界には存在しません）。経済産業省の定める、産業上重要なレアメタルの一部としても扱われています。レアアースは独特な磁気的・光学的特性をもつため、特殊な機能をもつ先端材料の作製に不可欠の元素群です。ハイブリッドカーのモーターや風力発電機などに必須の強力な永久磁石（Nd-Fe-B 磁石）に用いられるネオジムやジスプロシウム、テルビウム、LED 照明の蛍光体に用いられるイットリウムやユウロピウムなどがその代表例です。新興国の急速な経済発展と、グリーン・テクノロジー（省エネ・エコ技

術）への世界的な志向を背景として、今後もレアアースの需要は増加の一途を辿ると予想されています。

（注3） 海水中のオスミウム同位体比：オスミウム（Os）という元素には質量数の異なるいくつかの同位体がありますが、本研究の扱うオスミウム同位体比とは、質量数 187 と 188 のオスミウム同位体の存在量の比をとったもので、$^{187}Os/^{188}Os$ と表記します。海水中に含まれるオスミウムの $^{187}Os/^{188}Os$ の値は、過去数千万年の間に大きく変動してきたことが知られています。そして、海底堆積物には堆積当時の海水の $^{187}Os/^{188}Os$ が記録されています。これを利用して、年代を知りたい堆積物の $^{187}Os/^{188}Os$ を測定し、海水の $^{187}Os/^{188}Os$ の記録と照らし合わせることで、堆積物の年代を決めることができます。

（注4） 湧昇流：海洋の深層から表層へと海水が湧き上がる現象のことを一般的に湧昇と呼び、この流れのことを湧昇流と呼びます。海の表層と深層は、塩分や温度、密度が異なるため普通は混ざり合いませんが、風や地形などのさまざまな要因により湧昇流が発生することで混ざり合い、深層にある栄養塩などの物質が表層へと循環します。海山などの地形的高まりの周囲は代表的な湧昇流の発生場です。海山周辺は現在でも魚の多い好漁場となっていることがよく知られています。

９．添付資料：

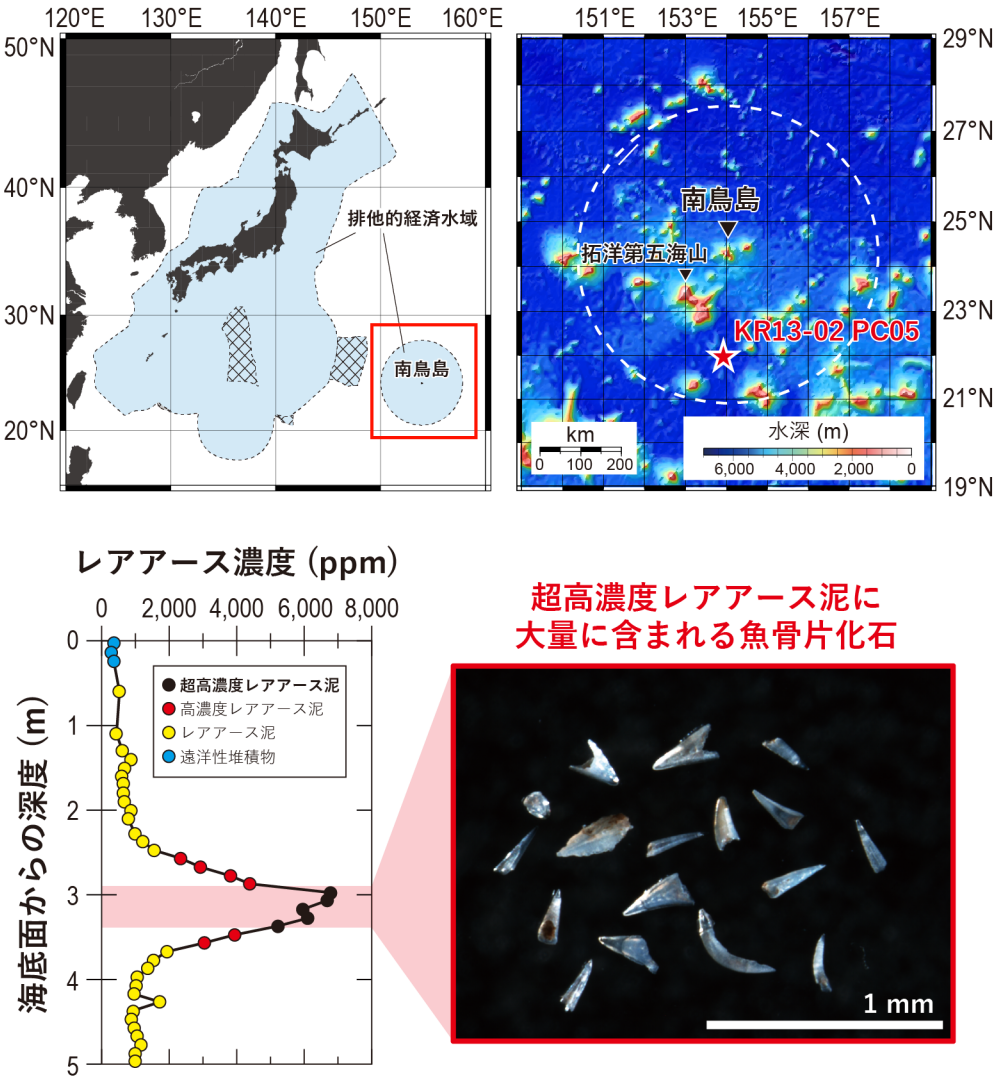


**図１**：（上）南鳥島の位置と排他的経済水域の位置、および超高濃度レアアース泥の発見された堆積物コア（KR13-02 PC05）の採取位置。（下）KR13-02 PC05 堆積物コアのレアアース濃度の深度方向変化と、その超高濃度レアアース泥層に含まれる魚骨片化石の顕微鏡写真。

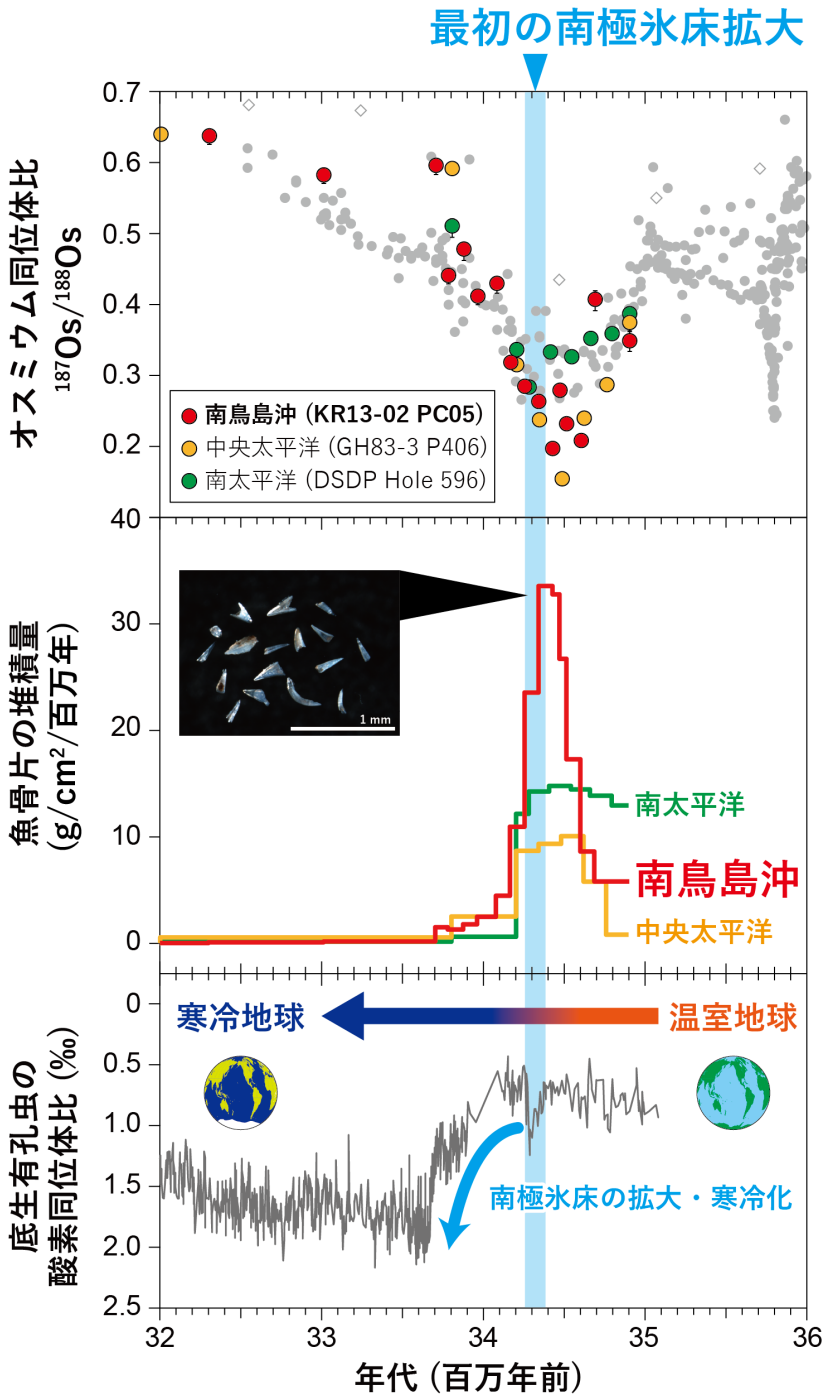


**図 2**：（上）本研究の分析で得られた各堆積物コア試料のオスミウム同位体比。灰色のプロットは、先行研究によって得られた海水のオスミウム同位体比変動記録を示しています（注 2）。（中）本研究で得られた堆積年代から復元した、当時の魚骨片の面積当たりの堆積量。南鳥島や中央太平洋では 3,450 万年前付近に値が大きく上昇しており、これらの海域で魚の数が増えたことがわかります。（下）氷床量と海水温の指標である底生有孔虫（海底に生息し，炭酸カルシウムで出来た殻を持つ微生物）の酸素同位体比。数値が大きくなる方向（下方向）が氷床の拡大と海水温の低下（すなわち、全球的な寒冷化）を示します。水色で示した酸素同位体比の一時的な増加は 3,450 万年前頃の最初の南極氷床拡大イベントを示し、その後の 3,370 万年前頃にみられる値の大きなシフトが、本格的な大陸氷床の発達と地球寒冷化を示しています。

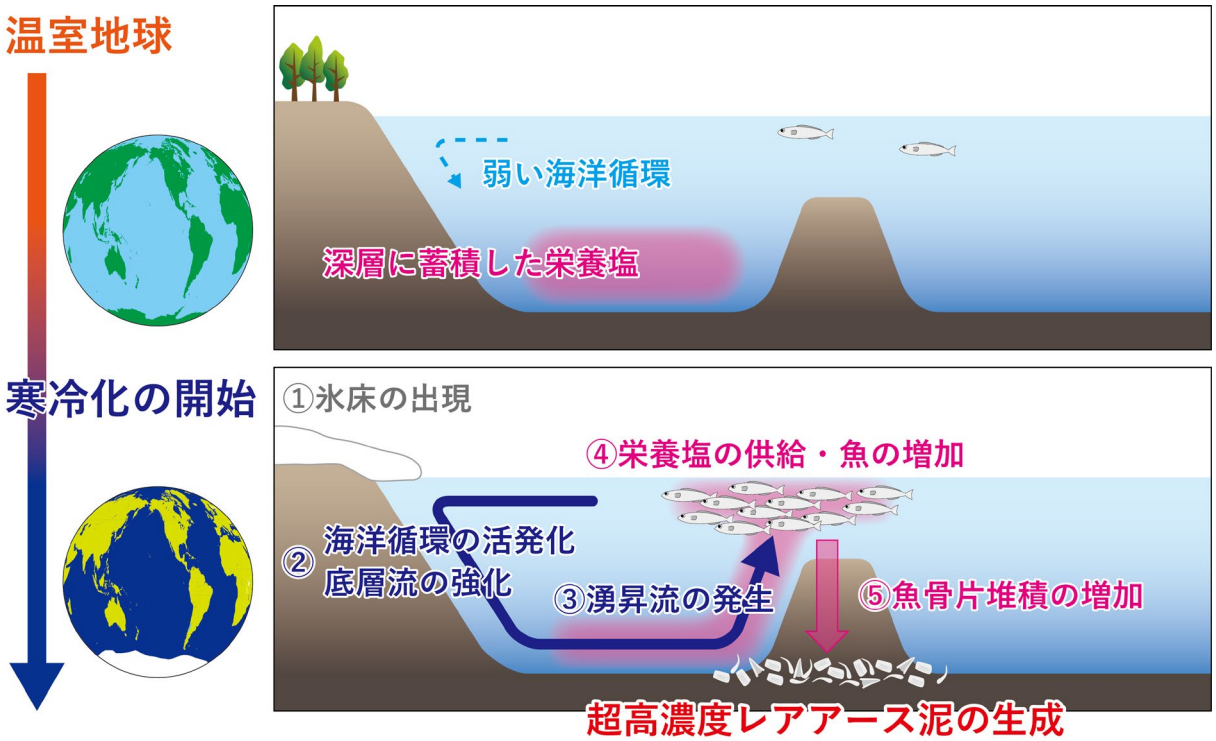


**図 3**：本研究グループの提案した超高濃度レアアース泥の生成メカニズムの模式図。上図の温室地球では、比較的穏やかな海洋循環の中で、大量の栄養塩が海洋深層に蓄積しています。下図の寒冷化の開始時には、大量の栄養塩が湧昇流によって表層にもたらされ、魚が増加して魚骨片堆積が増加した結果、超高濃度レアアース泥が生成したと考えられます。

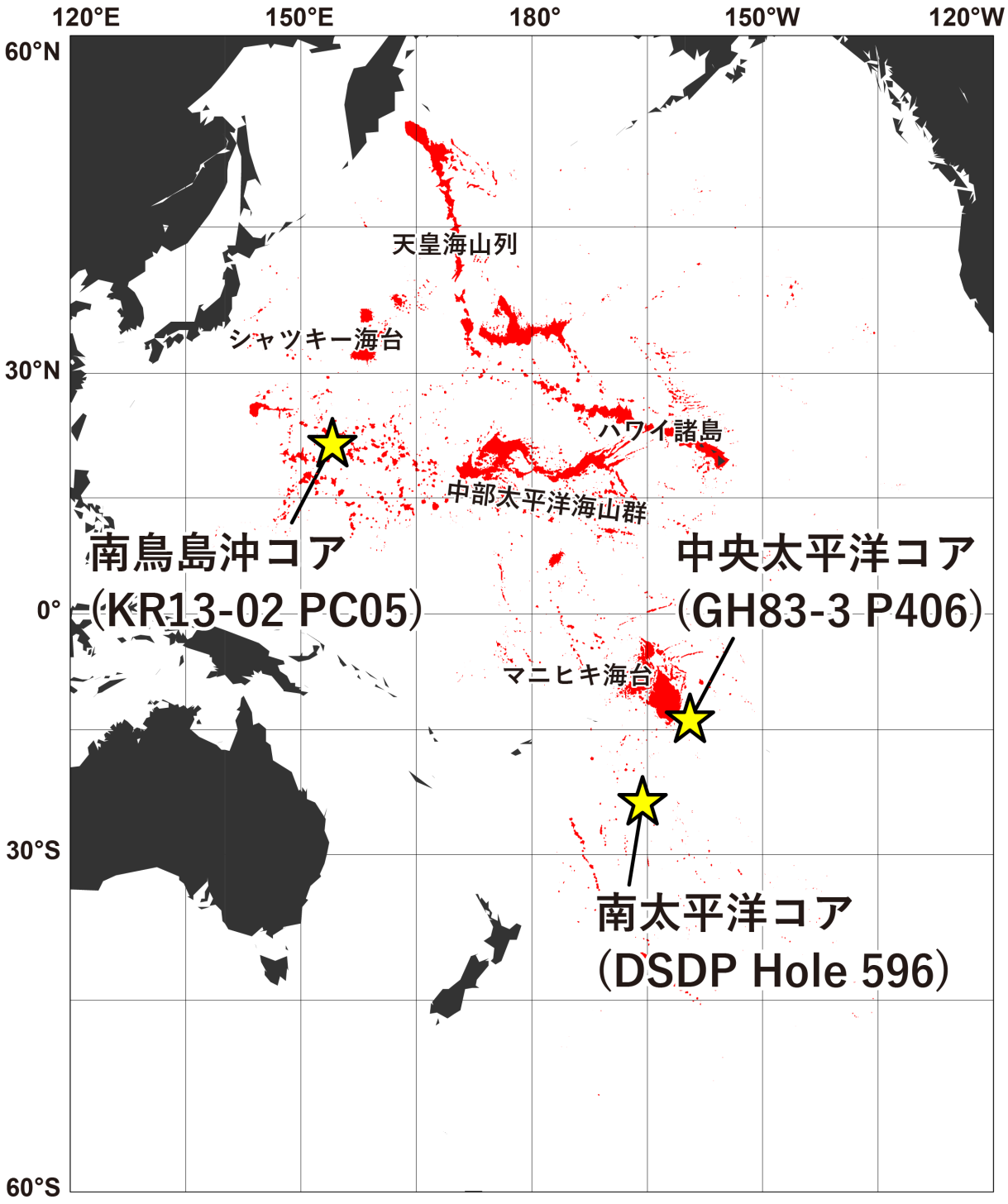


**図 4**：水深 5,000 m 以上の深海底に存在し、海底面からの高さが 1,000 m 以上の海山の分布（赤色）。これらの海山の近傍に、超高濃度レアアース泥が分布している可能性が高く、今後の重要な探査ターゲットになると考えられる。