

調査・研究報告書

1. はじめに

海底からガスが噴出する浅海域は世界に幾つか存在する。このうち、噴出ガスの主成分が CO₂ である海域は、今後、人間社会が CO₂ 排出の大幅削減に取り組まない場合に懸念される海洋環境を先取りしている「将来の海」と見なされ、海洋科学、とりわけ海水中の CO₂ 濃度の上昇に伴う pH の低下（海洋酸性化）の観点から、これらの海域を対象にした研究が国内外で進められている。国内でも CO₂ 噴出浅海域が幾つか見つかっており（図 1）、うち沖縄県の硫黄島 (Inoue *et al.*, 2013) や東京都の式根島 (Agostini *et al.*, 2015)、大分県の姫島 (藤井ら, 2023) ではこれまでに海洋酸性化の観点から研究が行われている。

昭和硫黄島周辺の海底からガスが噴出していること、そしてそのガスの主成分が CO₂ であることは既に報告されている（例えば火山研究解説集：薩摩硫黄島；https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/satsumaoujima/vr/doc/034.html）。しかし、上記のように数少ない貴重な CO₂ 噴出浅海域であるにもかかわらず、CO₂ 噴出の分布等の詳細はまだ明らかにされておらず、海洋酸性化の観点からの研究も行われていない。また、噴出する CO₂ をはじめとするガスの成分やその分布をつぶさに調べることで、陸域での調査だけでは見えてこない、周辺地域の地質構造の解明にも寄与すると期待される。しかし、国内のガス噴出浅海域をジオパークのコンテンツと位置づけて研究を行った例は殆どない。

そこで、本研究では、ジオパークと海洋酸性化の観点から、昭和硫黄島周辺の浅海域の CO₂ 噴出が周辺海域に及ぼす生物化学影響を詳細に調べた。



図 1. これまでに知られている日本近海の CO₂ 噴出浅海域

2. 方法

調査区域及び地点：漁船を備船し、昭和硫黄島周辺の CO₂ 噴出海域と CO₂ 非噴出海域で以下の調査を実施した。

- (1) 海洋酸性化指標の空間分布の把握：水温、塩分、pH、水深等を測定可能な複数の測器を、備船した漁船で曳航し、これらの項目を測定した。全地球測位システム (GPS)を併用することで、上記の測器により取得されたデータの位置情報を付与し、海洋酸性化指標の空間分布を描出した。
- (2) 海底からの CO₂ 噴出が生物に及ぼす影響の評価：海底からの CO₂ 噴出の有無による生物種の違いをスキューバ潜水によって詳細に調べ、上記で得た海洋酸性化指標の3次元分布の結果と照合し、CO₂ 噴出海域における生物の海洋酸性化影響を評価した。

3. 結果と考察

昭和硫黄島の南岸と北岸で表層から底層まで pH の低下が観測された (図 2)。南岸では、先行研究 (火山研究解説集：薩摩硫黄島)で報告されているように、海底からの著しい CO₂ 噴出が認められた (図 3) ことから、噴出した CO₂ が海水に溶けて周辺の海水の pH を低下させたと考えられる。調査時には北風が卓越しており、北岸では海況が悪かったため、潜水調査を実施できず、北岸の海中の様子を把握できなかった。北岸でも CO₂ が海底から噴出しているかどうかを明らかにすることが今後の課題である。

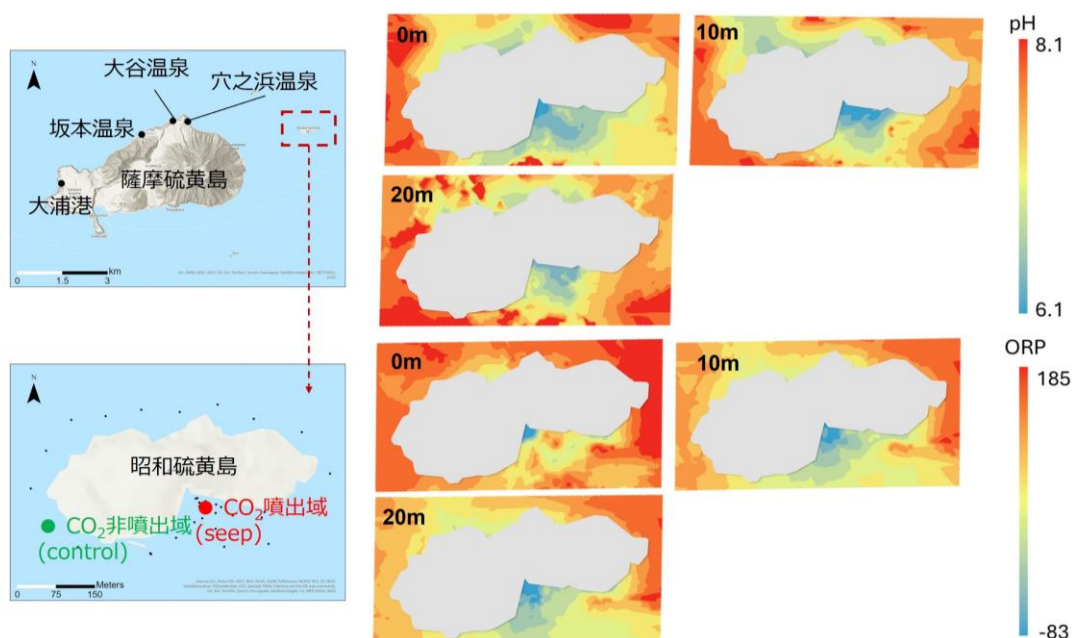


図 2. 2024 年 1 月 9 日の昭和硫黄島周辺の pH (上) と酸化還元電位(oxidation-reduction potential (ORP); (mv))の分布 (図は Jen-Han Yang 作成)

加えて、南岸では酸化還元電位(oxidation-reduction potential (ORP))の著しい低下も見られた(図2)ことから、還元環境が生じていると考えられる。今回の調査ではガス成分の分析を実施できなかったが、ガス噴出域周辺の様子から、硫化水素も噴出していると推察される。



図 3. 昭和硫黄島南岸の CO₂ 噴出域

図2に示す CO₂非噴出域と CO₂噴出域における生物観察の結果、両者の距離は 400 m 程度しか離れておらず、また水温や塩分等の物理環境に違いは見られなかったにもかかわらず、生態系が大きく異なることが明らかとなった(図4)。すなわち、CO₂非噴出域ではサンゴやそれに依存する魚類等から成る、典型的な亜熱帯・温帯移行域の環境が広がっていた。一方、CO₂噴出域ではサンゴは全く見られず、芝状藻類と還元環境に依存すると考えられる生物が優占し、魚類は周辺環境には依存しないと考えられる回遊性の強い大型のものが見られた。

CO₂非噴出域 (control)
: 通常の亜熱帯生態系が優占
・ サンゴ
・ サンゴ礁に生息する魚類



CO₂噴出域 (seep)
・ 芝状藻類と硫化物に依存する生態系が優占?
・ 大型魚類は回遊



図 4. CO₂非噴出域(左)と CO₂噴出域(右)の生物相

両者の顕著な生物相の違いは、周辺海域の海水の pH の違いがもたらしていると考えられる。CO₂ 非噴出域における pH が世界的な平均である 8 程度で安定して推移した一方、CO₂ 噴出域におけるそれは大きく変動し、最低値 5.65 を記録した (図 5)。人間社会が今後、CO₂ を大幅に削減しないと pH は今世紀末までに 7.7 程度まで低下すると予測されている (例えば International Panel on Climate Change (IPCC), 2022)。この値は炭酸カルシウムや炭酸マグネシウムの殻を持つ石灰化生物に深刻な影響を及ぼすとされる閾値 (7.6 程度) に近い。しかし、本研究によって CO₂ 噴出域で得られた値はこの閾値を遥かに下回るものである。また、海水試料を分析した結果、pH と共に海洋酸性化の指標として用いられるアラゴナイト (炭酸カルシウムの一結晶形態であり、サンゴの骨格もアラゴナイトで形成される) 飽和度 (Ω_{ara}) は、CO₂ 非噴出域では 2.83 と通常の値であったが、CO₂ 噴出域では 0.14 と、これまでに国内の沿岸域で報告された中では最低レベルであったことが分かった。 Ω_{ara} の値が 1 を下回る海洋環境では化学理論上、サンゴ等、アラゴナイトの殻を形成できないので、昭和硫黄島の CO₂ 噴出域では実際にサンゴ等の石灰化生物の生存が難しいことが、今回の生物化学調査の結果から推測された。

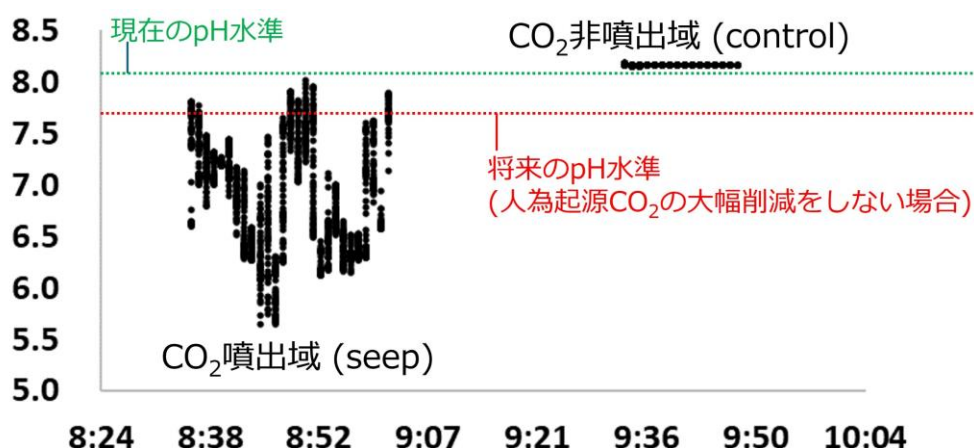


図 5. 2024 年 1 月 14 日のスキューバ潜水中に装着した pH センサーが記録した、CO₂ 非噴出域と CO₂ 噴出域における pH 値

4. まとめ

日本近海では、海底から火山性のガスが噴出する海域が幾つか知られている。特に浅海における火山性ガスの噴出域は、人間社会にとって身近で重要な沿岸にあり、比較的容易にアクセスできることから、主に火山学の観点から研究が進められてきた。とりわけ、浅海 CO₂ 噴出域は今後、人類社会が CO₂ 排出量の大幅な削減に取り組まなければもたらされる将来の海洋環境を先取りしていると考えられ、浅海 CO₂ 噴出域における生物化学過程を

詳細に調べることで、海洋酸性化が海洋生態系に及ぼす影響を評価・予測する上で重要な知見を得られると期待される。

本研究では、昭和硫黄島周辺の浅海 CO₂ 噴出域を、海洋酸性化の観点から初めて調査した。その結果、CO₂ 噴出域の周辺では、CO₂ 海水中の濃度は非 CO₂ 噴出域よりも高く、pH や炭酸カルシウム飽和度の著しい低下が見られ、人為的な CO₂ 排出量の大幅な削減がなければ今世紀末に到達すると予測される値と同等あるいはそれ以下となる海洋環境が存在していることがわかった。これらの浅海 CO₂ 噴出域は日本ジオパーク内に位置していることから、学術研究の対象としてだけでなく、ジオパークの観点からスタディーツアーやエコツーリズムのフィールド、ローカルアイデンティティの再構築の題材としても活用できると期待される。