

皆さんは「カルスト地形」という言葉をご存じでしょうか？

カルスト地形は知らなくとも、鍾乳洞は知っている方が多いのではないでしょうか？

カルスト地形で有名な場所といえば山口県の秋吉台、福岡県の平尾台などがあります。白い岩肌・青い空・緑の草原が織りなす美しい景色を、写真やテレビでご覧になった方もいらっしゃると思います。風光明媚なカルスト地形は国内・国外問わず人気の観光地となっています。

カルスト地形は陸上で石灰岩が雨水や地下水などによって溶食（化学的溶解）を受けてできた地形の総称です。すり鉢状の穴であるドリーネ、ドリーネが繋がってできるウバーレ、ウバーレがさらに広がって低地となるポリエ、鍾乳洞などがカルスト地形に含まれます（図1）。

カルスト地形

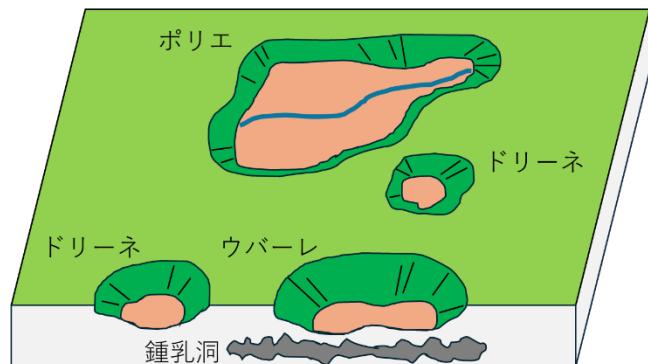


図1 カルスト地形の概要

このカルスト地形、海の中にもあることをご存じでしょうか？？

陸上で形成されたカルスト地形が、海面の上昇や地盤沈下によって、海の中に沈むことがあります。海の中に沈んだカルスト（地形）を「沈水カルスト（地形）」と呼びます。

沈水カルスト地形の形成過程を示したのが図2です。①まず、浅い暖かい海でサンゴや貝類等の生物の死骸が堆積して石灰岩が形成されます。②次に、石灰岩が陸化すると、雨水や地下水で溶食されます。③溶食が進むと地表面がすり鉢状に窪んで、ドリーネやウバーレができます。また、地下で溶食が進むと鍾乳洞ができます。④このようにできたカルスト地形が海面の上昇などで海に沈むと、沈水カルスト地形ができるわけです。

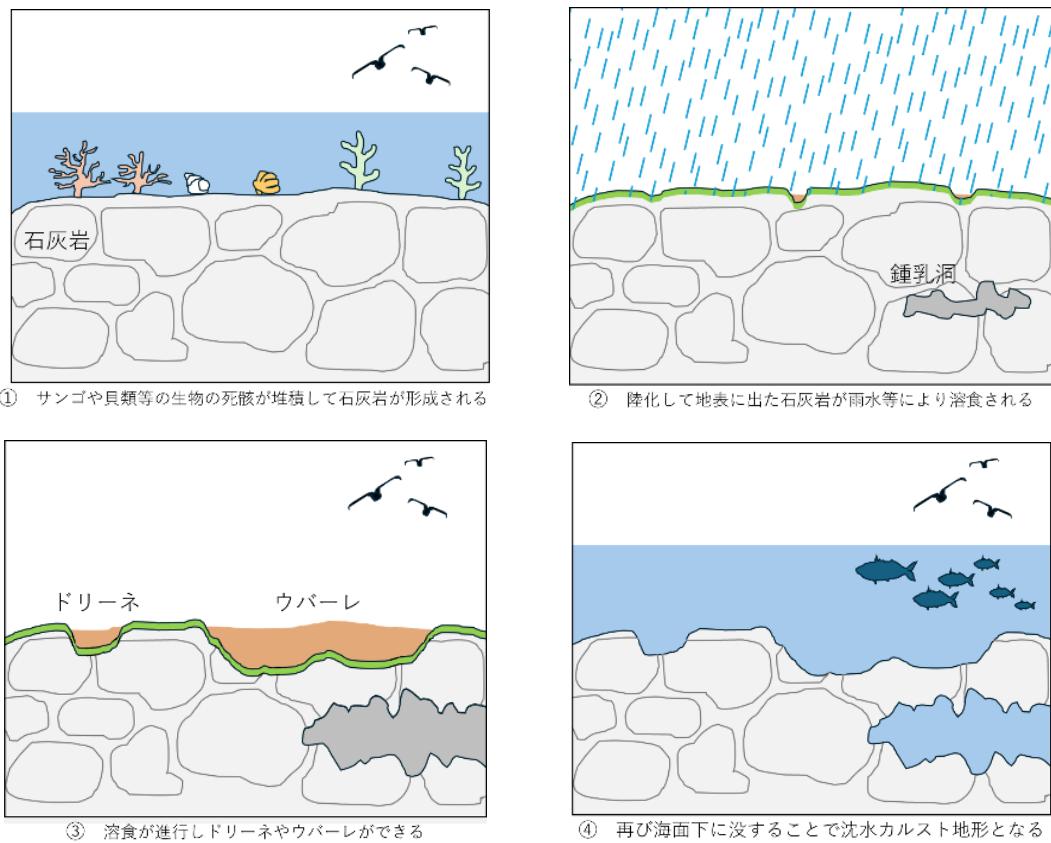


図2 沈水カルスト地形の形成過程

沈水カルスト地形は国内では非常に稀です。明瞭な沈水カルスト地形が報告されているのは小笠原諸島の南島（みなみじま）と石垣島の名蔵湾（なぐらわん）の2例のみです（図3）。ちなみに、世界に目を向けると、世界遺産に登録されているベトナムのハロン湾も沈水カルストの一種です。

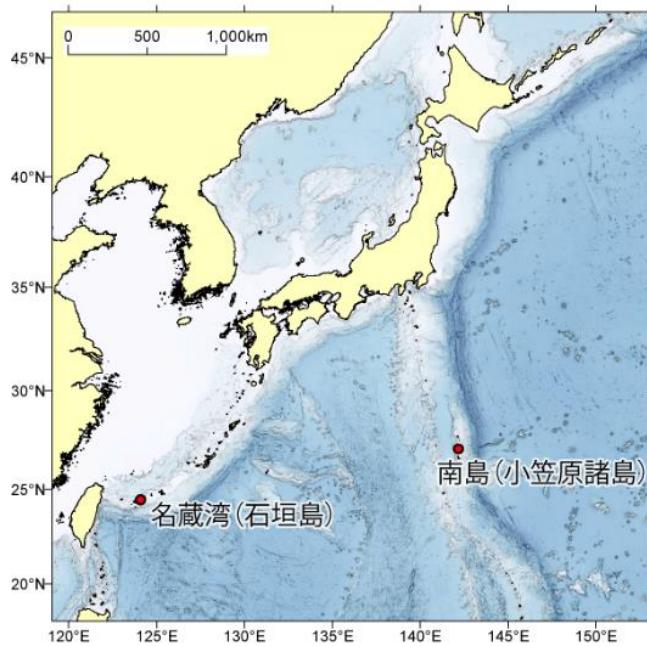


図3 国内で沈水カルスト地形が確認されている場所

石垣島の名蔵湾では、船に搭載したマルチビーム音響測深機と呼ばれるソナーを使って、沈水カルストの存在が明らかにされました（図4）（Kan et al., 2015; 九州大学プレスリリース, 2014）。名蔵湾の沈水カルストは調査が実施された2011年まではその存在すら知られていませんでしたが、ソナーを使った調査により、 $1.85\text{ km} \times 2.7\text{ km}$ 以上の広大な範囲に沈水カルスト地形が広がっていることが発見されました。

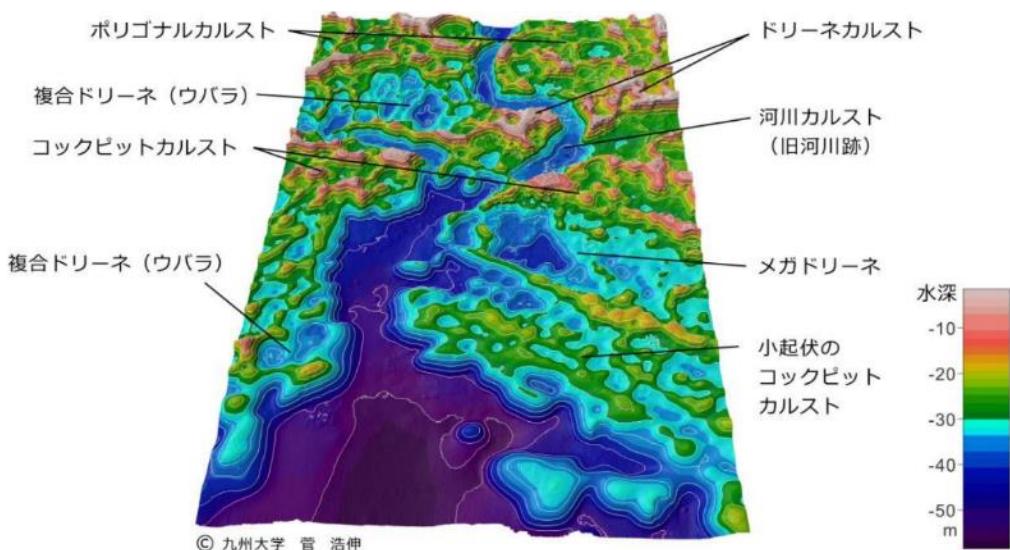


図4 石垣島名蔵湾の沈水カルスト地形（九州大学プレスリリース, 2014）  
様々な種類の沈水カルスト地形が報告されている。

小笠原諸島の南島（図5）ではどうでしょうか？航空写真の解析から、島の周囲に沈水ドリーネ等の沈水カルスト地形が存在することが報告されていました（図6）（堀, 1969）。しかしながら、航空写真から沈水カルスト地形が分かるのは島の周辺の浅い場所（=透明度が高く、上空から海底が見えるところ）に限られています。海の中ではどこまで沈水カルスト地形が広がっているのか？その全容は明らかにされていませんでした。

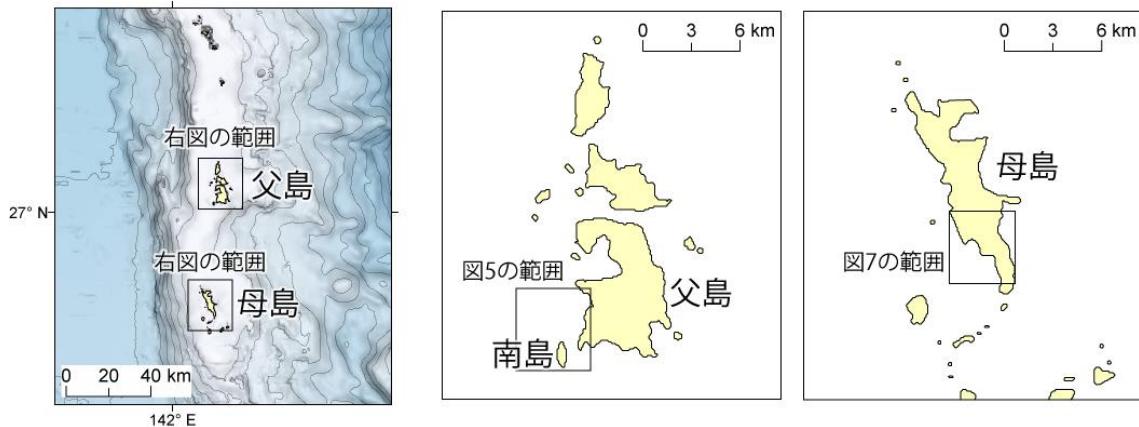


図5 小笠原諸島、南島及び母島の位置図

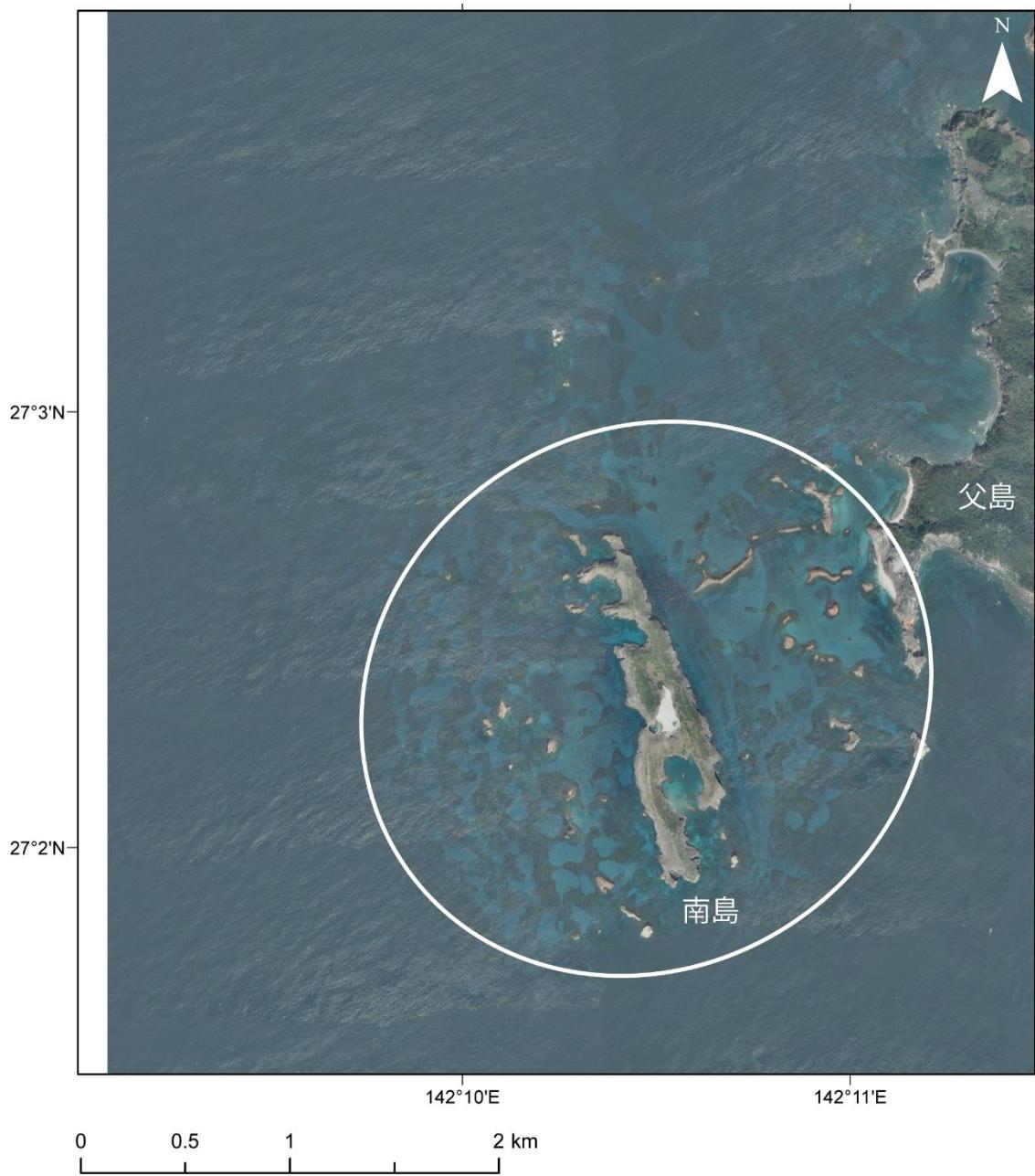


図6 南島及びその周辺の航空写真（写真は国土地理院提供）  
白点線は航空写真から分かる沈水カルスト地形の範囲

海上保安庁は令和4年10月に、南島の周辺で航空機を用いた水深調査を実施しました。水深を正確に調べることで船の座礁などの事故を防ぐことが目的です。では、なぜ船ではなく、航空機を使ったのでしょうか？南島の周辺は水深が非常に浅くなっています（水深0~10m）。水深が浅い場所を船で調査するのは非常に時間がかかります。図7は船に搭載したマルチビーム音響測深機で調査をする場合のイメージ図です。マルチビーム音響測深機は音波を海底に向けて発射して水深を調べます。発射された音波は広がっていくため、水深が深くなればなるほど、一度に広い面積を調査できます。一方、水深が浅くなればなるほど音波が広がらなくなるため、一度に調査できる面積は狭くなります。水深が浅い場所を調査する場

合、船を何度も行き来させて調査する必要があり、非常に多くの時間がかかるわけです。また、水深が浅い場所には、未調査の浅瀬などが存在する可能性があります。浅瀬に船が乗り上げたり、ぶつかると事故になるため、船での調査は危険も伴います。

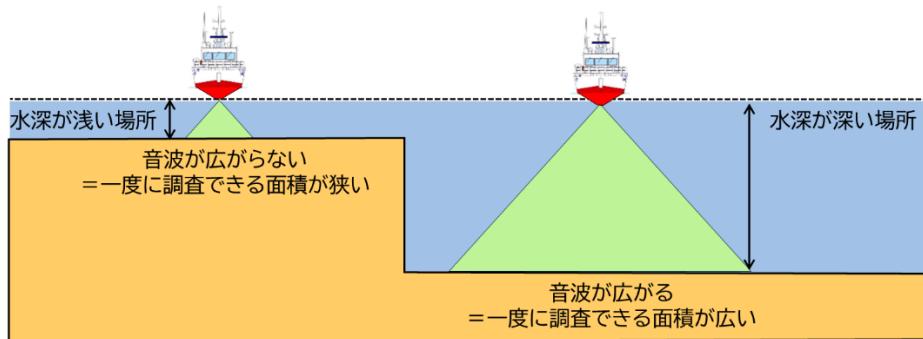


図7 船に搭載したマルチビーム音響測深機を用いた調査のイメージ

このような水深が浅い場所でも効率的かつ安全に調査できるのが航空機です。レーザーを発射する機械（レーザー測深機）を航空機に搭載して調査を行います。海上保安庁では「航空レーザー測量」と呼んでいます（図8）。航空レーザー測量はレーザー光を発射し、海底で反射させ、その往復時間を計測することによって、海底地形を面的に連続測定することができます。船で調査することが難しい水深が浅い場所でも安全に効率よく調査することができます。



図8 航空レーザー測量の概要

南島の周辺で実施した航空レーザー測量の結果、沈水ドリーネが南島の北西沖に連続して分布していることが初めて明らかになりました（図9）。南島の北西沖は深いところでは水深が50mに達します。このような深い海底の地形は航空写真からではわかりません（図6）。

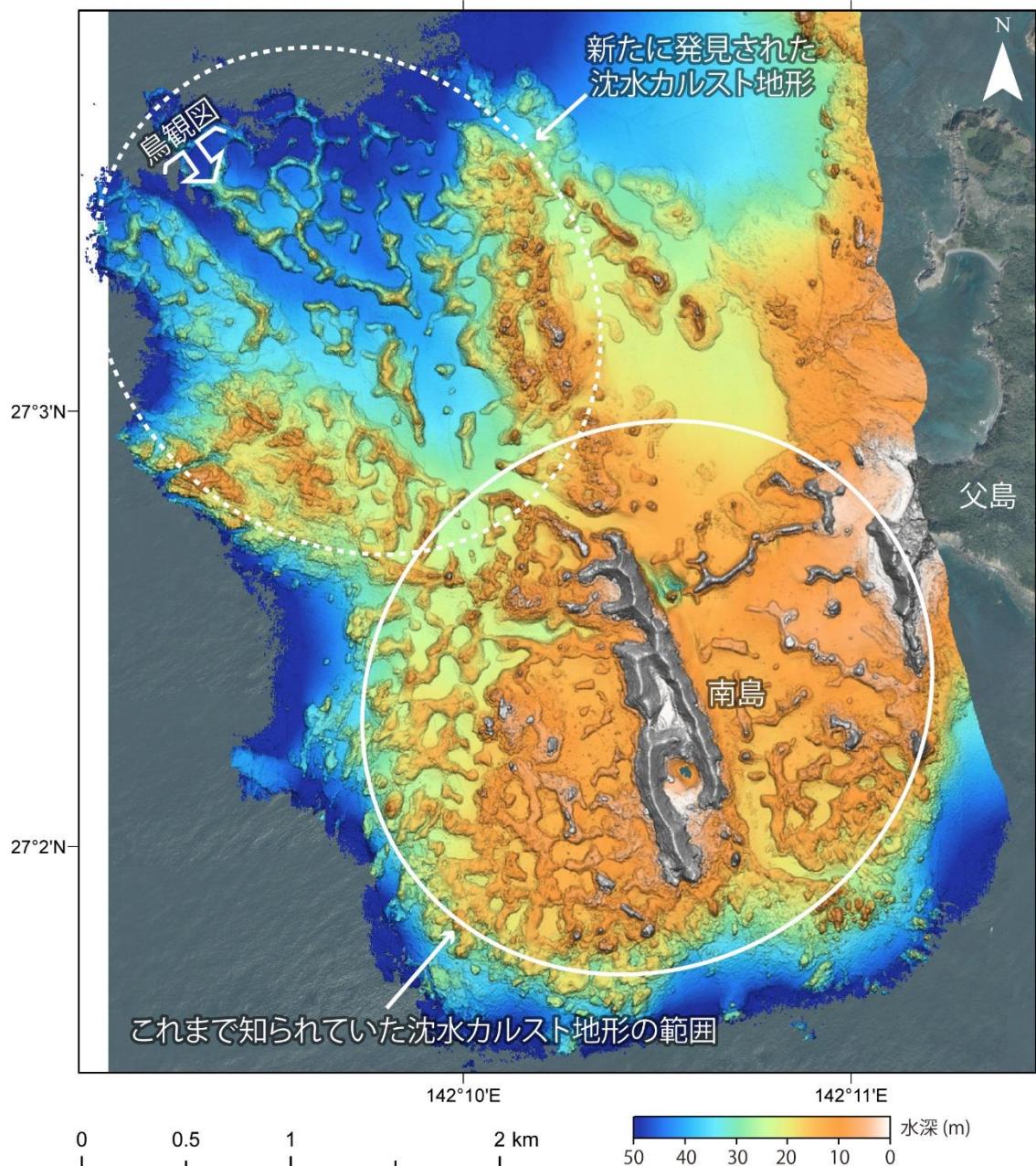


図9 航空レーザー測量から明らかになった南島及びその周辺の海底地形図

また、航空レーザー測量からこれらの沈水ドリーネの大きさや深さが正確に分かりました。直径は概ね 100-200 m、深さは 10-20 m であることが分かりました（図10）。

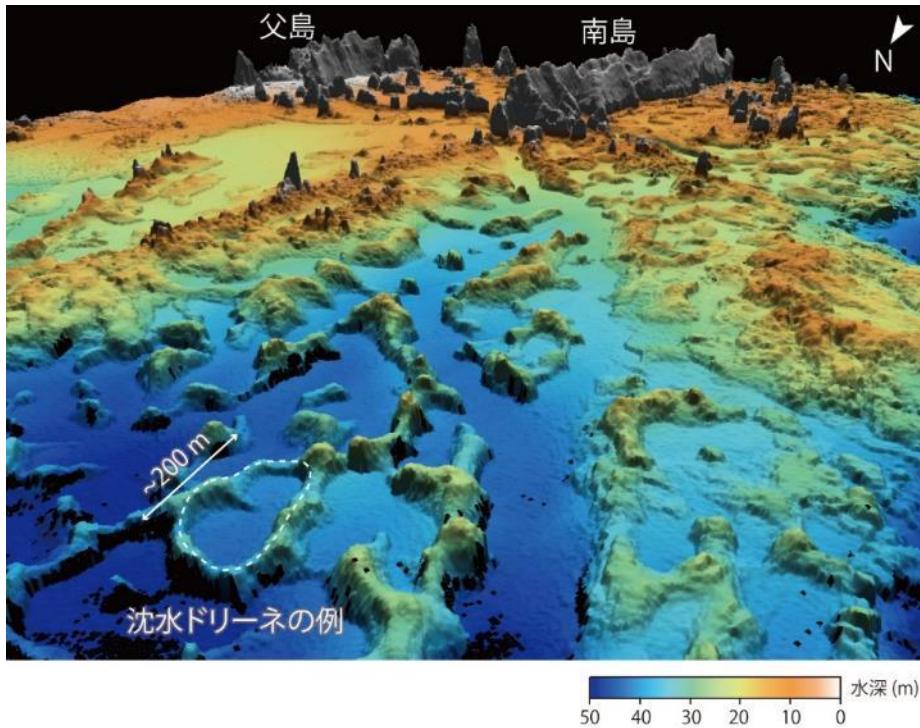


図 10 南島の北西沖の鳥瞰図。  
白点線は沈水ドリーネの例を示す。鉛直方向を 3 倍に誇張。

ドリーネとドリーネの間には、ドリーネの外縁がつながって形成された細長い稜線状の地形が広がっています。このような地形は周囲の海底よりも浅く、暗礁となるため、その分布や水深等を把握することは船舶の航行安全にとって重要です。

今回の調査で明らかになった沈水カルスト地形の範囲と、これまで航空写真から分かっていた範囲を併せると、沈水カルスト地形は少なくとも約  $4\text{ km} \times 2\text{ km}$  に広がっており、面積は約  $9.5\text{ km}^2$ （東京ドーム約 200 個分）に及びます（[図 9](#)）。

さらに、令和 3 年 1 月に母島周辺において実施した航空レーザー測量の結果、同様の沈水カルスト地形が発見されました（[図 11](#)）。母島では島の北東部の石門地区にはカルスト地形や鍾乳洞が発達することが知られています（[海野ほか, 2016](#)）。しかしながら海の中に沈水カルスト地形が発達することはこれまで知られていませんでした。当庁の調査により初めて明らかになったわけです。

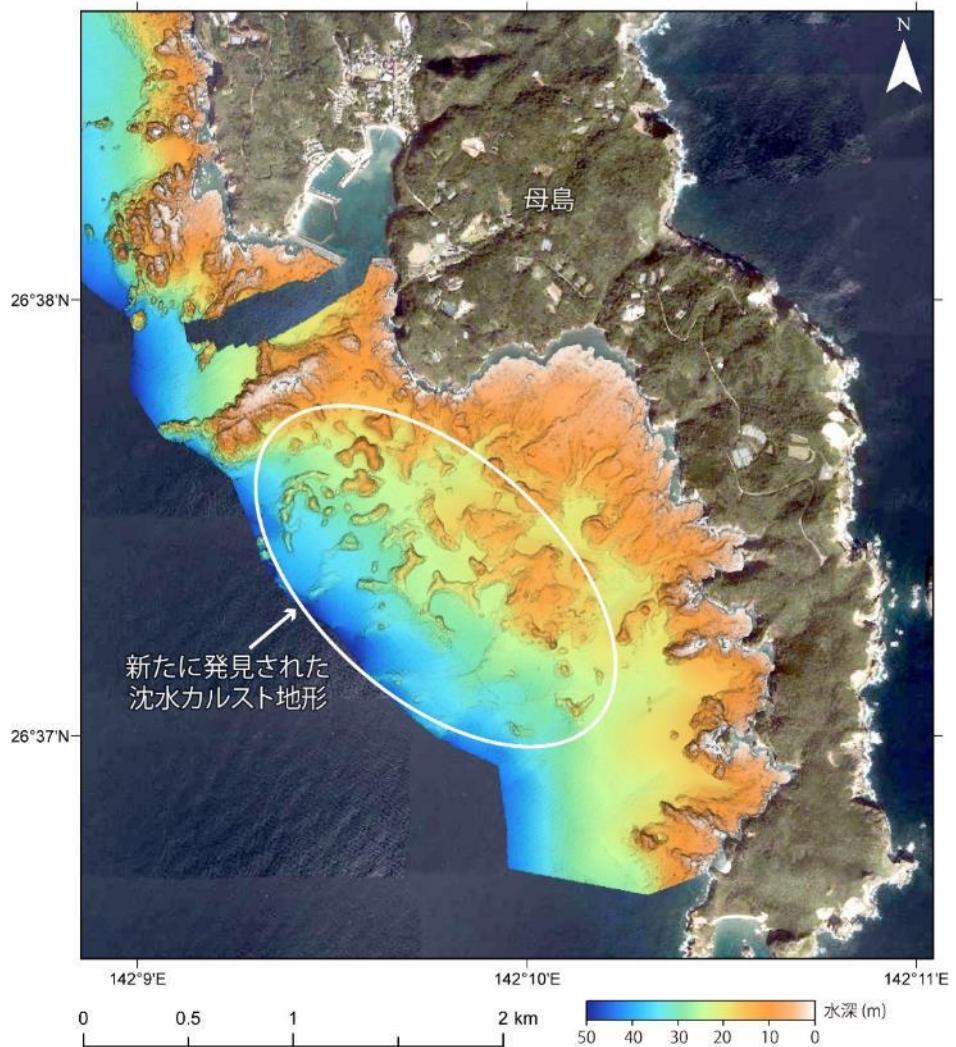


図 11 航空レーザー測量から明らかになった母島周辺の海底地形図

このような沈水カルスト地形のような非常に珍しい地形の存在やその詳細が明らかになったことについて、環境省小笠原自然保護官事務所の藤田道男・国立公園保護管理企画官は次のように述べています。

「海面が現在より低い時代に形成されたカルスト地形が、海面下に広く分布している様子が科学的に明らかとなった。この成果は、世界自然遺産の小笠原諸島にとって、また一つ大きな魅力を加えたことになる。」

海上保安庁海洋情報部では、引き続き、航空レーザー測量を実施し、沿岸域における船舶の航行安全及び海洋環境の保全ならびに海洋権益の確保などに資する海洋の基盤情報の整備に努めてまいります。

## 引用文献

海野 進, 石塚 治, 金山 恭子, 2016. 母島列島地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 46 p.

Kan, H., Urata, K., Nagao, M., Hori, N., Fujita, K., Yokoyama, Y., Nakashima, Y., Ohashi, T., Goto, K., Suzuki, A., 2015. Submerged karst landforms observed by multibeam bathymetric survey in Nagura Bay, Ishigaki Island, southwestern Japan. *Geomorphology* 229:112-124.

九州大学プレスリリース, 2014. 石垣島で発見された日本最大の沈水カルスト地形：詳細な海底地形図を公表. 2014年8月25日

堀 信行, 1969. 小笠原父島列島南島の沈水 karst 地形. *地学雑誌* 78(2):Plate1-Plate2.