

亜熱帯島嶼域におけるSS・窒素・リンの流出動態とサンゴ生息海域への影響

ー鹿児島県与論島をフィールドとしてー

Effluents of SS, Nitrogen, and Phosphorus in Subtropical Island Region and Impact on Coral Habitat Areas – Field Study on Yoron Island, Kagoshima Prefecture –

○ 中野 拓治*, 中西康博**, 佐塚直孝**, 池田香菜***

NAKANO Takuji*, NAKANISHI Yasuhiro**, SADUKA Naotaka**, IKEDA Kana***

1. はじめに

亜熱帯島嶼域の南西諸島に属する島々には琉球石灰岩と呼ばれる透水性の高い石灰岩が広く分布することから、陸水が海域に流出する経路として地下水が他地域に比べ重要であるが、陸水の海域流出における地下水と地表水の分配や動態の多くは不明である。他方、亜熱帯島嶼域では、赤土流出防止対策の実施等を通じて陸域からの土砂流出負荷を可能な限り低減するための活動の推進が求められている。そこで、本研究では、鹿児島県与論島をフィールドに亜熱帯島嶼域の地表水と地下水の海域流出特性を把握し、SS・窒素・リンの海域流出動態とサンゴ生息海域への影響を検討した。

2. 研究方法

本研究では、与論島東部沿岸域におけるサンゴ礁面積（サンゴ被度）の変化について航空写真・衛星画像情報により推定した。2015年～2018年に同島礁池内外の海水中の全窒素（T-N）・全リン（T-P）濃度を測定した。礁池内におけるサンゴの生息と海底の底質状況との関係を把握するため、2018年8月に現地調査を実施し、出水時と晴天時に海水のpHを現地観測した。同島東部海岸の2カ所の排水路（イシバマ排水口と皆田排水口）において、降雨イベントに伴う地表流出水量を2020年6月～7月に観測し、その結果を用いた水収支計算により、2013年～2022年の地下浸透水量と地表水量を推定した。同島東部の3流域（イシバマ排水口、皆田排水口、増木名川）で、2013年5月～2018年1月の期間に降雨イベントで発生した地表水を採水し、SS濃度、T-N濃度、T-P濃度を測定するとともに、その比較対象として地下水のT-N濃度とT-P濃度を測定した。

3. 結果と考察

3.1 サンゴ生息状況の変遷・現状と海域の窒素・リン濃度

与論島の東北部礁池内のサンゴ生息面積は1945年に67.2 haであったが、1975年には51.2ha、1985年には27.8haと生息域が1945年の41%にまで減少し、1945年～1985年の40年間でほぼ半減したと推定された。さらに、2017年には面的広がりのあるサンゴ生息域は消失し、塊状ハマサンゴ属の点在が確認されるのみで、生息面積は0.5 haと1945年当時の1%にも満たないものと推定された。与論島周辺における礁池外海水のT-N濃度とサンゴ被度には明瞭な関係は認められなかったが、礁池内ではT-N濃度が 0.05 mgL^{-1} を超えるとサンゴ被度が10%以下に低下し、 0.1 mgL^{-1} 以上になると3%程度となることが示された（図-1）。また、海水中のT-P濃度とサンゴ被度の間にも負の相関（相関係数：-0.953）が示され、T-P濃度が 0.015 mgL^{-1} を超えるとサンゴ被度は10%以下にまで低下することが認められた。

サンゴの生息には、栄養塩類以外の食害、潮流、底質環境、水温等の多様な要因が影響することが知られていることから、窒素・リン濃度の低い礁池外（T-N平均濃度： 0.03 mgL^{-1} 、T-P平均濃度： 0.007 mgL^{-1} ）では栄養塩類以外の要因がサンゴの生息に影響を及ぼすものの、礁池内においては栄養塩（T-N・T-P）濃度がサンゴの生息環境の律速要因になっている可能性が示唆された。

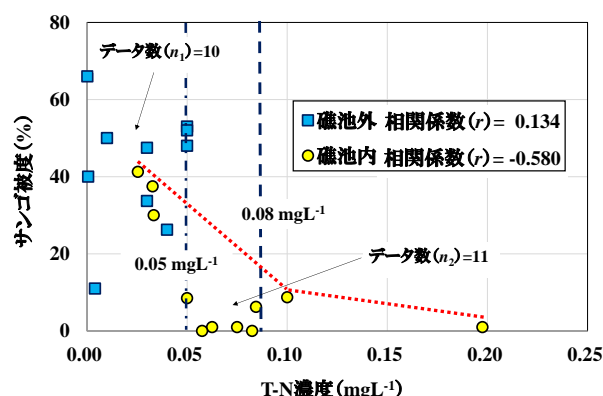


図-1 与論島周辺海域のT-N濃度とサンゴ被度

3.2 地表水と地下水による陸域からの流出水量

与論島は多孔質で透水性の高い琉球石灰岩に覆われているものの、4日間連続の降雨イベントでは降

*琉球大学 University of the Ryukyus, **東京農業大学国際食料情報学部 Graduate School of Tokyo University of Agriculture, *** NPO 法人海の再生ネットワークよろん NPO Marine Regeneration Network Yoron

キーワード：亜熱帯島嶼、SS、窒素・リン、流出形態、サンゴ生息環境

水量が99mmを超えた降水が地表流出し、2日間連続降雨では74 mmを超えると地表流出することが認められた。また、降雨継続期間が長く、降雨強度が小さい降雨パターンほど、雨水の地下浸透量が多くなり、地下水涵養される日降水量の上限値は60 mm程度であることが示された。さらに、日降水量が地下浸透等損失降水量（69 mm）を上回ると地表水が発生し、年間平均降水量 $3.84 \times 10^7 \text{ m}^3 \text{ y}^{-1}$ のうち、地下浸透水量と地表水量はそれぞれ44.4%、18.2%を占め、降水量の62.6%が陸水として海域に流出しているものと推定された。

3.3 地表流出懸濁物質とサンゴ生息環境

与論島東部地域の地表水のSS濃度は、降雨イベントの降水量と正の相関が存在する一方、流域面積との間には負の相関が認められたことから、両者を説明変数とする定式化を試み、次の重回帰式（乗法式：自由度調整済重相関係数：0.972）が得られた。

$$S_s = 1.84Pr^{1.02} \cdot Ca^{-0.30} \quad (1)$$

ここで、 S_s ：地表水のSS濃度（ mgL^{-1} ）、 Pr ：降水量（mm）、 Ca ：流域面積（ha）である。

陸域からの土砂流出量には、地表水のSS濃度と流出水量が関与し、表土を下流へ流すのに十分な降水量と大きな降雨強度が与えられると、土壌粒子が地表水中の懸濁物質（SS）として流出するものと考えられた。地表水の流出先である寺崎海岸から船倉地先の礁池内には砂礫が堆積し、被度1%以下の塊状ハマサンゴ属が点在していた。海底が堆積土砂で覆いかぶされたことで、サンゴの着生抑制や成長阻害による影響が生じるなど、陸域からの土砂流出によるサンゴ生息環境への関与が示唆された。また、皆田海岸から皆田離までの浅瀬とソフトコーラル生息域において、地表水流出時に海水pHの低下現象が確認されたことから、排水口から海域に流出した地表水により海水pHが低下し、海水の酸性化に関与している可能性が示された。

3.4 地表水と地下水による窒素・リンの流出動態

地表水のT-N濃度は、 $2.5 \sim 6.2 \text{ mgL}^{-1}$ （平均値： 4.6 mgL^{-1} ）であり、SS濃度と明瞭な相関が示されなかった一方、地表水のT-P濃度は $0.42 \sim 1.04 \text{ mgL}^{-1}$ （平均値： 0.73 mgL^{-1} ）に分布し、SS濃度との間に高い正の相関が認められた（図-2）。また、窒素流出量は地表水量に対応して変動し、リン流出量は地表水量に追従するSS濃度変化に対応して変動することが示された。地表水のT-N濃度は、地下水（平均濃度： 6.0 mgL^{-1} ）の7割強の濃度水準である一方、地表水のT-P濃度は地下水（平均濃度： 0.03 mgL^{-1} ）の24倍の高い濃度を示した。栄養塩（窒素・リン）の海域流出負荷は、降雨イベントの降水量が増加するにつれて地表水の寄与度が高くなり、栄養塩負荷における地表水の寄与は降水量に関わらず、窒素負荷に比べてリン負荷が大きいたことが確認された（図-3）。このことから、地表水と地下水の窒素濃度に大きな濃度差がないため、降水量によって地表流出水量が変化し、海域への地表水と地下水による窒素流出割合に影響しているものと推察された。一方、リンに関しては、地表水と地下水のリン濃度水準の違いが影響し、リン負荷量は地表水経由流出の寄与率が高いことが示唆された。

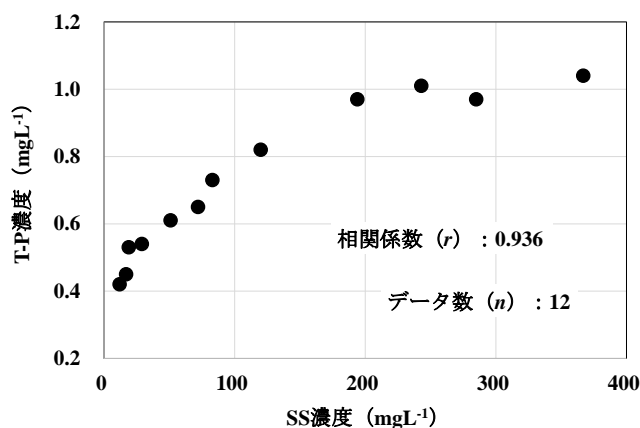


図-2 地表水のT-P濃度とSS濃度の関係

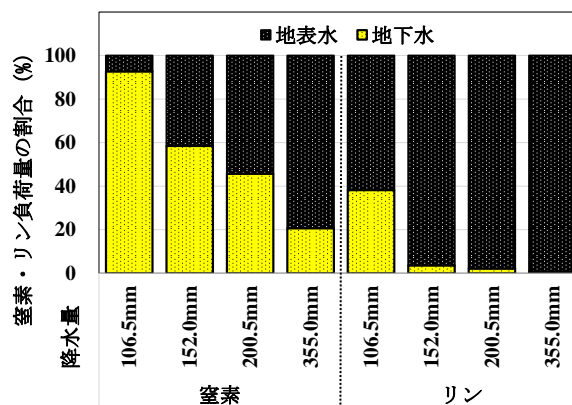


図-3 窒素・リン流出負荷量の地下水・地表水の割合

4. おわりに

サンゴ礁生態系の保全・再生を図るためには、地域の暮らしとサンゴ礁生態系のつながりを意識して、陸域に由来するSSと栄養塩の負荷低減対策の重要性の認識・啓発と効果的な対策の実施が必要であり、本研究成果がこれらの取組に活用されることを期待している。