

# 石垣島轟川のSSと栄養塩濃度

仲宗根一哉・比嘉榮三郎・大見謝辰男・安村茂樹\*・灘岡和夫\*\*

## Measurements of Suspended Solid and Nutrients in Todoroki River, Ishigaki Island

Kazuya NAKASONE, Eisaburo HIGA, Tatsuo OMIJA, Shigeki YASUMURA and Kazuo NADAOKA

要旨：石垣島白保礁池に流入する轟川の平常時SSは10mg/r 未満が多く，雨天時平均SSは90.8mg/r で，平常時の約22倍，雨天時平均全リンは0.244mg/r で，平常時の約5倍，雨天時平均全窒素は2.13mg/r で，平常時の2.48mg/r より僅かに低い．SSと全窒素の相関は低く ( $r = 0.022$ )，SSと全リンは正の高い相関 ( $r = 0.810$ ) が認められたことから，窒素成分の濃度変化が必ずしも濁質の流出に伴わないことやリンはSSと同様な挙動をとることが示唆された．SSの主な構成成分は土壌微粒子と考えられ，全窒素は表面流出と浸透流出の両方，全リンは表面流出による影響が推察される．さらに，全窒素，全リンともに家畜ふんなど点源の影響が伺われ，特に窒素負荷に対するその寄与は相当大きいものと予想される．また，轟川から白保礁池へ流入する各成分の年間負荷量の推算値はSS 2,240ton/年，全窒素71.5ton/年および全リン6.6ton/年となった．

**Key word**：栄養塩，SS，白保礁池，轟川，年間流出負荷量

### はじめに

石垣島白保礁池を対象とした陸域からの濁質（土壌粒子）や栄養塩の流出実態を把握するため，白保礁池に流入する轟川の雨天時と平常時における河川表層水SS，全窒素および全リン濃度等の測定を実施したのでその結果を報告する．

なお，本研究は平成12年度文部科学省科学研究費補助金研究課題「陸域・外洋影響を考慮したサンゴ礁物理・生態環境システムの総合的観測と解析」（研究代表者：東京工業大学 灘岡和夫）に基づいて実施した．

### 方法

#### 1. 調査期間

2000年8月19日～2001年1月7日．

#### 2. 河川水採水地点および採水方法

轟川の本流および支流に7ヵ所の採水地点を設定し（図1），各地点で雨天時6回，平常時5回，河川表層水を汲み取った．雨天時の採水は，降雨中または降雨後すぐに行った．採水後，ただちに全窒素，全リン測定用に500p をねじ口ガラス瓶に，SSなどの測定用に1000p をポリビンにそれぞれ移して分析用試料とした．

\* WWFジャパン サンゴ礁保護研究センター

\*\* 東京工業大学

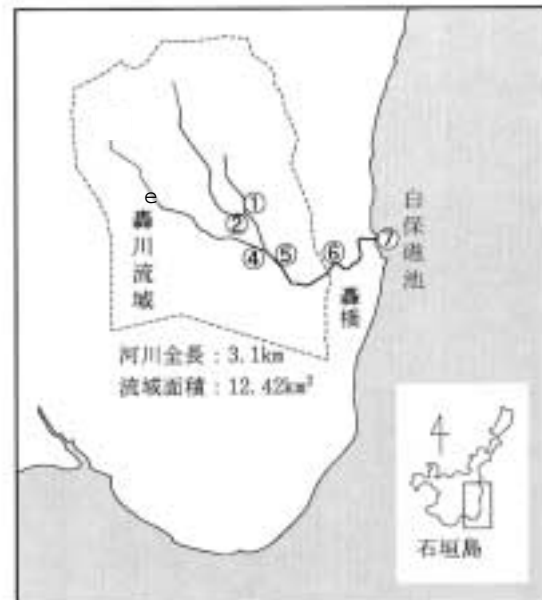


図1. 石垣島轟川．図中の番号は採水地点を表す．

#### 3. 測定項目及び分析方法

##### a 測定項目

全試料：全窒素（TN），全リン（TP），SS

一部試料：溶存態窒素（DN），溶存態リン（DP），粒度分布および塩分

s 分析方法

TNはアルカリ性ペルオキソ二硫酸カリウム分解 - カドミウム還元法, TPはペルオキソ二硫酸カリウム分解 - モリブデン青吸光度法で行った. DNとDPは雨天時の懸濁水を0.45 μmメンブランフィルタ - でお過後, る液をそれぞれTNおよびTPと同様の方法で分析した. SSはJIS K 0102に準じ, フィルターはガラス繊維ろ紙GS25を用いた. 粒度分布は島津製レ - ザ - 回析装置SALD - 3000を用いて測定し, 分布基準は体積割合とした. 塩分はセントラル科学株式会社製UC-78型を用いて測定した.

結果

1. SSおよび栄養塩濃度

SS, TNおよびTPの頻度分布は図2a ~ 図2cに示すように, SSとTPでは対数正規分布に近似し, TNでは正規分布に近似する. したがって, SSとTPは対数変換後に統計処理を行い, 平均は幾何平均とした.

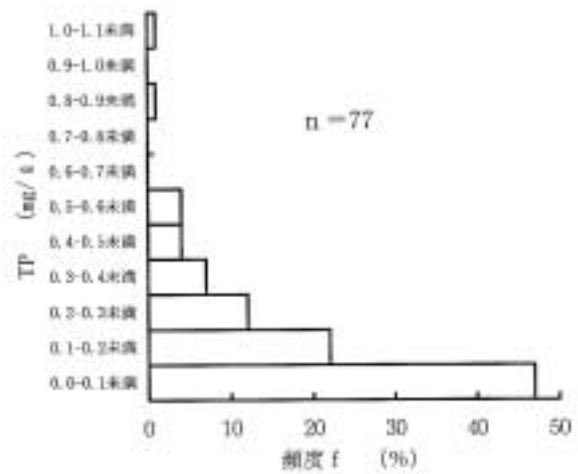


図 2c. 採水試料 TP の頻度分布.

各採水地点における平常時と雨天時のSS, TNおよびTPの濃度を表1 に示す.

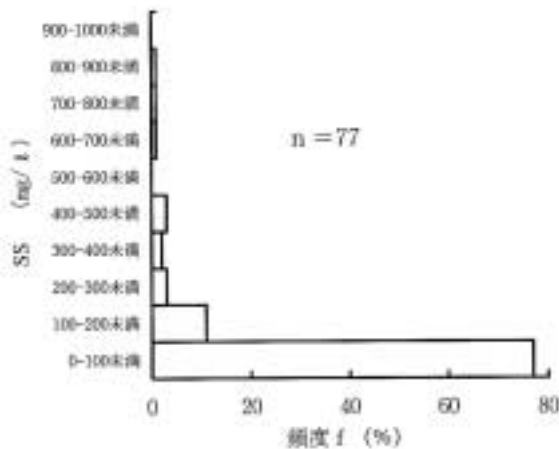


図 2a. 採水試料 SS の頻度分布.

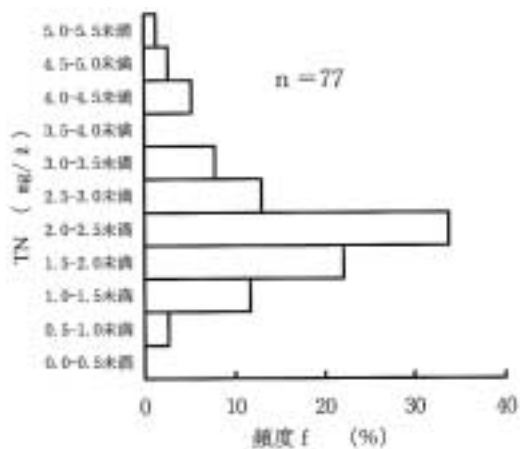


図 2b. 採水試料 TN の頻度分布.

表1. 平常時および雨天時における轟川採水試料SS, TNおよびTP濃度.

採水地点	SS		TN		TP		
	平常時	雨天時	平常時	雨天時	平常時	雨天時	
①	平均	7.78	88.8	2.31	1.70	0.046	0.149
	最大	24.6	708	3.27	2.10	0.081	0.320
	最小	5.00	23.7	1.06	1.38	0.028	0.071
②	平均	5.90	82.6	1.11	2.14	0.038	0.228
	最大	31.4	342	1.50	3.07	0.056	0.410
	最小	2.10	30.3	0.62	1.56	0.024	0.134
③	平均	1.77	62.2	1.48	1.62	0.046	0.185
	最大	11.3	157	2.16	2.11	0.065	0.408
	最小	0.01	14.5	0.50	1.42	0.031	0.084
④	平均	2.81	170	3.89	2.73	0.056	0.492
	最大	8.13	1,290	5.28	4.52	0.140	1.530
	最小	0.35	42.8	2.35	1.42	0.028	0.178
⑤	平均	4.94	129	2.98	2.43	0.052	0.355
	最大	8.63	887	4.48	3.01	0.096	1.010
	最小	1.22	35.4	2.20	2.06	0.030	0.169
⑥	平均	2.22	110	3.05	2.33	0.052	0.306
	最大	7.88	490	4.68	2.81	0.110	0.510
	最小	0.17	23.9	2.25	1.84	0.029	0.157
⑦	平均	8.96	46.1	2.55	2.01	0.047	0.147
	最大	11.3	163	4.00	2.44	0.100	0.290
	最小	6.88	8.9	1.68	1.71	0.023	0.046
全体	平均	4.17	90.8	2.48	2.13	0.048	0.244
	最大	31.4	1,290	5.28	4.52	0.140	1.530
	最小	0.01	8.9	0.50	1.38	0.023	0.046

なお、雨天時採水日における石垣島の日降水量は2000年8月23日および29日40.5mm, 8月30日94.0mm, 10月25日79.0mm, 11月5日70.5mm, 2001年1月7日42.0mmである。

平常時SSは10mg/r 未満が多く, 最大は31.4mg/r, 外観は無色透明である。雨天時SSは10~100mg/r が全体の40%, 100~1,000mg/r が全体の55%を占める。SSの最大値は2001年1月7日雨天時の地点 における1,290mg/r である。雨天時試料の懸濁水をしばらく静置すると土壤微粒子と思われる黄褐色の沈殿物を生ずる。

雨天時平均SSは90.8mg/r で, 平常時の約22倍, 雨天時平均TPは0.244mg/r で, 平常時の約5倍, 雨天時平均TNは2.13mg/r で, 平常時の2.48mg/r より僅かに低い。また, 全試料を通して地点 のTN, TPが高い傾向が見られ, 下流の採水地点にその影響が認められる。

## 2. 塩分

海水の影響を確認するため, 一部の試料について塩分を測定した。一般に, 外洋からサンゴ礁へ流入する海水の塩分は34.4‰<sup>1)</sup>である。採水時間帯が上げ潮時であった平常時(2000年10月29日)の地点 (河口)では, 塩分が6.1‰あり, 海水の影響を受けていると考えられる。河口以外の地点および採水時間帯が下げ潮時にあたる雨天時(2000年11月5日)の地点 の塩分は0.0‰で海水の影響は受けていない。

## 3. 粒度分布

粒径分類は国際土壌学会法に基づいた。雨天時に採水した一部試料の粒度成分の分布は, 採水地点間の変動より採水日による変動が大きい。すなわち, 2000年8月30日の試料は, 平均して29%が細砂( : 0.2~0.02mm)で, 71%がシルト以下( : <0.02mm)であったが, 2000年10月25日の試料では地点 をのぞいた全ての地点でシルト以下が100%を占めた。また, 2001年1月7日の試料は, 平均して9%が細砂で, 91%がシルト以下の成分であった。

## 4. 流域の土地利用状況

2001年2月21~22日に轟川流域の土地利用状況を踏査した。轟川は東水岳, 西水岳の丘陵に源を有し, 谷底低地を南東に流れ, 石垣島白保集落の北約3kmの海岸に至る, 総流程3.1km, 流域面積12.42km<sup>2</sup>の河川である<sup>2)</sup>。流域では1979~1990年代半ばまで土地改良事業<sup>3)</sup>が実施され, 整備された農地が広がっている。また, 1981~1989

年に県営かんがい排水事業<sup>4)</sup>が実施され, 轟橋から上流は, 源流部以外の全流程がコンクリート排水路として改修されている。

轟川流域農地面積の大半はサトウキビ畑で占められる。次いで採草用牧草が2~3割を占め, 水田やパインアップル畑は農地面積全体の1割に満たない。轟川上流の丘陵地はトムル層片岩類を母岩とする国頭マーヅ土壤で, かつてはパインアップルが主な栽培作物であったが, 現在ではパインアップルは衰退し, これに代わってローズグラス(*Chloris gayana*)など, 暖地型牧草の採草地の増加が著しい。また, 草地面積の増加は肉用牛飼養頭数の増加によるもので, 流域全体に放牧牛のパドックや牛舎が点在する。中流域の農地では, 主にサトウキビが作付され, 支流に沿って水田が細長く張り付いている。流域の南側や海岸に近い農地では琉球石灰岩を母岩とする島尻マーヅ土壤が分布し, サトウキビ畑や放牧地が多い。サトウキビは1年半の在圃期間を経て収穫, 更新される作型(夏植)がほとんどで, 1月~2月のサトウキビ収穫後に葉タバコを植え付ける輪作体系が増えており, 葉タバコの作付面積も年々増加傾向にある。

## 考察

### 1. 栄養塩濃度

轟川が開口する白保礁池はアオサンゴ(*Heliopora coerulea*)の大規模な群体や巨大なハマサンゴ類(*Porites spp.*)のマイクロアトールなど多様なサンゴ群集で世界的に知られる。しかし, 土地改良事業開始以来, 土壤流出によるサンゴ礁海域の汚染が問題となり<sup>5,6)</sup>, 土地改良事業が実施されなくなった今日でも降雨時の農地侵食に伴う土壤流出の影響で白保礁池のサンゴ生態系はダメージを受けているといわれている<sup>6,7)</sup>。このため, 土壤流出が白保礁池のサンゴに及ぼす影響について, 数多くの調査がなされている<sup>7-10)</sup>。しかし, 陸域からの栄養塩の影響に関しては知見が少なく, 農地が土壤流出の主な流出源と考えられる轟川流域では, 土壤流出に伴って有機物や肥料成分, 土壤残存農薬などが河川へ流出すると予想されるため, 土壤微粒子の影響に加え, 陸域からの栄養塩の供給がサンゴ礁生態系に少なからず影響を及ぼしている可能性がある。

湖沼では, 富栄養化をおこす栄養塩濃度は窒素0.15mg/r, リン0.02mg/r 以上といわれている<sup>11)</sup>が, 轟川のTN, TP濃度は平常時, 雨天時ともこれらの値より高く, 自然由来に加えて人為的影響が大きいことがわかる。特に, TNは0.50~5.28mg/r と比較的高い。この理

由として、轟川の水が周辺の石灰岩台地の地下水を主要な水源としている<sup>12)</sup>ことから、降雨時の表面流出濁水に由来する成分に加え、地下浸透した硝酸態窒素の流入が考えられる。また、渡久山ら<sup>13)</sup>は、1989年4月4日に地点、  
、  
、  
の近くで採水した河川水のアンモニア濃度を測定し、地点付近で、アンモニア濃度が異常に高い数値を示したことから、その上流にアンモニア供給源の存在を予想している。著者らは流域踏査の結果、雨天時のTN、TP濃度が高い傾向が見られた地点では、その上流に位置する牛舎横に大量の牛ふんが野積みになれ、その排汁が河川に流入しているのを確認した。地点では平常時においてもTNが高い値を示していることから、家畜ふん尿由来の有機成分が恒常的な河川汚濁の一因になっていると推察され、栄養塩負荷に対する寄与は相当大きいものと思われる。

## 2. SSと栄養塩濃度の関係

SSとTNおよびSSとTPの相関を図3および図4に示す。なお、SS、TPについては対数目盛りで表示する。

SS - TNの関係はSSの増加に対してTNは一定の傾向を示さず、相関は低い ( $r = 0.022$ )。一方、SS - TPの関係はSSの増加に伴い、TPも増加する傾向が見られ、高い正の相関を示す ( $r = 0.810$ )。特に、この傾向は降雨時に顕著である。このことは、窒素成分の濃度変化が必ずし

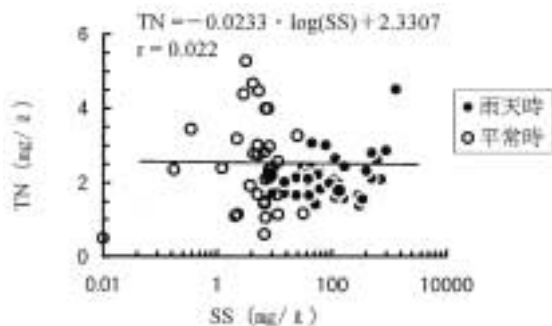


図3. 採水試料SSとTNの関係。

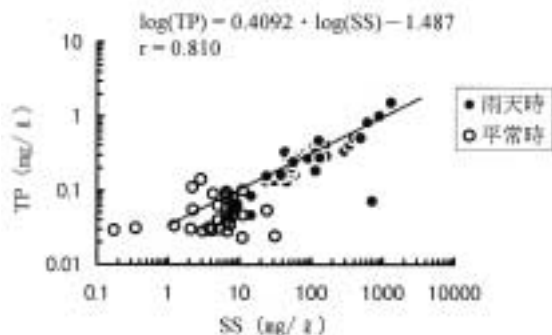


図4. 採水試料SSとTPの関係。

も濁質の流出に伴わないことやリンがSSと同様な挙動をとることを示唆している。

この理由について、窒素成分は前述のように、表面流出と浸透流出の影響を受け、さらに家畜ふんなどが点源となっていると考えられる。一方、リンは土壤構成成分と反応して不溶性の化合物をつくる。特に、国頭マージ土壤は、一般にリン酸吸収係数が高く<sup>13)</sup>、リンが土壤中に固定されやすい。侵食により土壤中の微細な粒子が選択的に流出するが、リンの多くは土壤微粒子に吸着されたまま河川水中に流出するものと考えられる。したがって、リンのほとんどは表面流出で、浸透流出は少ないと推察される。ただし、リンについても家畜ふんなどが点源となっていると考えられる。

## 3. 栄養塩の溶存比

2000年8月23日と29日の雨天時に採水した試料中、5地点の試料のDNとDPを測定し、これらの試料のTNとTPを用いてDN/TN比およびDP/TP比を求めた。これらの数値は各溶存成分の比率を表し、その平均はそれぞれ、0.68と0.57であった。すなわち、窒素成分はその約7割が河川水中に溶存しており、リン成分ではその約4割が吸着態として存在していることになる。河川水における栄養塩の形態について、窒素については溶存態、リンについては懸濁態として優占的に存在するという報告<sup>14)</sup>もあることから、ここでのリンの溶存比は若干高い。この理由として、分析の過程で酸化力の比較的弱いペルオキシ二硫酸カリウムを用いており、土壤微粒子に吸着されたリンの測定値が低く見積もられたため<sup>15)</sup>、相対的にDP/TP比が高く評価された可能性がある。

## 4. 粒度分布

雨天時試料の粒度分布は採水日より大きく異なる。既報<sup>16)</sup>では沖縄島、久米島および石垣島の182河川、SS測定点数のべ653点を解析し、1時間降水量が15mm以上の場合に、河床に堆積した粒径の比較的大きな成分が流勢により巻上げられ、河川表層に分布するようになるため、シルト以下の成分が80%前後まで低下する傾向が見られ、このことがSS値の増幅にも影響し、1時間降水量が15mm以上の場合、SSが1,000mg/lを超える割合が40%に上ることを指摘した。今回の調査においても石垣島の降水記録から得られた1時間降水量と粒度分布の間に同様な関係が見られ、河床に繁茂したパラグラス (*Brachiaria mutica*, 写真1)などの植物の根に補足されていた土砂の一部が強い流勢によって巻上げられること

が示唆された。しかし、1時間降水量とSSの関係については今回の調査からは明らかにならず、1時間降水量以外に、土壌の水分散性<sup>17)</sup>、先行降雨の有無などによる土壌の保水状態の違いなどもSS濃度に大きく関わるものと考えられる。なお、今回の調査では先行降雨の影響や降雨強度とSS濃度との関連について特に解析は行っていない。



写真1. 轟川河床に繁茂しパラグラス。2001年2月21日轟橋から上流を撮影。

### 5. 採水時のSSおよび栄養塩負荷量

採水時の河川流量が不明なため、直接、各成分の負荷量を求めることはできない。そこで、過去の報告書<sup>2,18)</sup>からSSと流量の実測値を解析し、地点（轟橋）における両者の関係式を求め、採水時のSSに対応する流量を推定した。次に、推定した採水時流量と各成分濃度を乗算して負荷量を算出した。図5に前述の報告書から得られた140対の流量（0.31～10.68k/s）とSS濃度（0.3～977mg/l）との関係を示す。

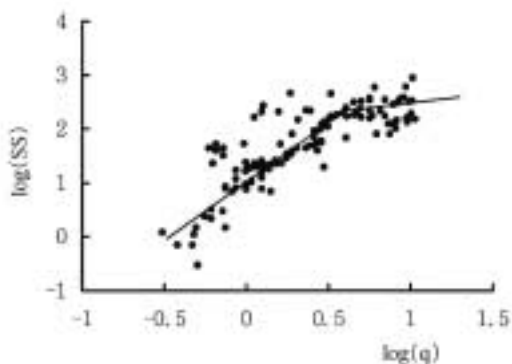


図5. 轟川地点yにおける流量とSS濃度の関係。縦軸はSS(mg/l)の対数。横軸は流量q(k/s)の対数。解析に用いた数値は沖縄県(1994)轟川流域赤土流出実態調査報告書および沖縄県(2000)白保海域環境現況調査による。

流量が5k/s未満の場合、流量およびSS濃度はともに等比級数的に変化し、両者の対数値はほぼ直線関係になる。この関係は流量をq(k/s)で表すと、

$$\log(SS) = 1.899 \cdot \log(q) + 1.149$$

ただし、 $q < 5k/s$  (r=0.813)

で示され、直線の傾きが1より大きく、流量の変動よりSS濃度の変動が大きいことがわかる。しかし、流量が5k/s以上になると、SS濃度の変動は流量に対して小さくなり、次式で示される。

$$\log(SS) = 0.656 \cdot \log(q) + 1.820$$

ただし、 $q \geq 5k/s$  (r=0.261)

これらの関係式から地点（轟橋）における採水時の流量を求め、SS負荷量、TNおよびTP負荷量を算出した（表2）。

表2. 地点④採水時のSS、TNおよびTP負荷量推算値。

採水時の状況	採水年月日	推定流量 (m <sup>3</sup> /s)	SS負荷量 (g/s)	TN負荷量 (g/s)	TP負荷量 (g/s)
平 常 時	2000/08/19	0.1	0.02	0.23	$2.8 \times 10^{-2}$
	2000/10/26	0.5	2.35	1.49	$4.8 \times 10^{-2}$
	2000/10/29	0.4	0.83	1.20	$4.1 \times 10^{-2}$
	2000/12/06	0.5	2.17	2.45	$1.5 \times 10^{-1}$
	2001/01/08	0.7	5.80	1.66	$3.2 \times 10^{-2}$
	平均		0.83	1.41	$2.0 \times 10^{-2}$
雨 天 時	2000/08/23	1.3	31.6	2.83	0.21
	2000/08/29	2.2	136	4.01	0.58
	2000/08/30	2.1	115	4.57	0.49
	2000/10/25	3.0	343	8.00	0.96
	2001/01/07	20.9	10,220	58.6	10.60
	平均		466	18.8	1.29

SS負荷量は、雨天時平均が平常時平均の約560倍である。同様に、TN負荷量は約13倍、TP負荷量は約70倍で、平常時と雨天時におけるSS負荷量の変動がTNおよびTPに比較してはるかに大きい。ここで、SSおよび栄養塩負荷量と流量の関係を図6に示すと、各負荷量と流量の対数値はほぼ直線関係になり、雨天時の河川水質に濃度変化はあっても、SSおよび栄養塩負荷量は流量に強く依存していることがわかる。また、SS負荷量やTP負荷量ではその変動が流量の変動より大きく、TN負荷量の変動は流量の変動よりもやや小さい。

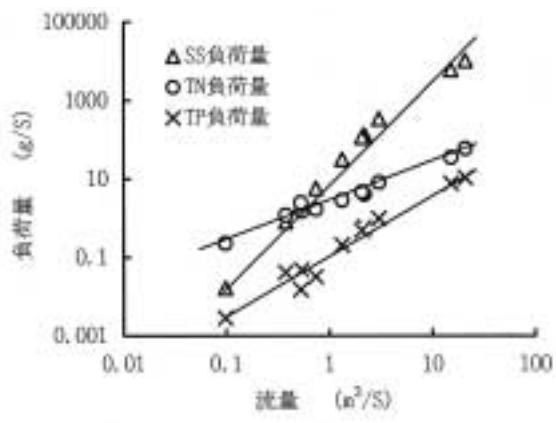


図6. SS負荷量および栄養塩負荷量と流量の関係。  
 河川流量を $q$ ( $k/s$ )、SS負荷量をSSL、TN負荷量をTNL、TP負荷量をTPLとすると、  
 $\log(SSL) = 2.487 \cdot \log(q) - 1.949$  ( $r = 0.992$ )  
 $\log(TNL) = 0.968 \cdot \log(q) + 0.416$  ( $r = 0.987$ )  
 $\log(TPL) = 1.595 \cdot \log(q) - 0.954$  ( $r = 0.982$ )

6. SSおよび栄養塩の年間負荷量

採水時のSSおよび栄養塩濃度を基にして年間負荷量を算出するには、流量を細分化し、それぞれの流量範囲に対応するSS、TNおよびTPの各平均濃度と日平均流量から、各成分の日負荷量を求め、これを積算して年間負荷量を算出する方法が適切であろう<sup>19,20</sup>。しかし、ここでは年間を通して計測された轟川の流量記録が得られなかったため、以下の方法で年間負荷量を求めた。

渡久山<sup>12)</sup>は白保礁池へ流入する水収支について試算している(表3)。表中の河川水量は平常時の年間流量を表しており、降雨時の河川水量は鉄砲水量として置き換えられる。そこで、粗い計算ではあるが、河口に近く、海水の影響が無視できる地点のSS、TNおよびTP濃度の平常時および雨天時におけるそれぞれの平均値から各成分の海域への年間負荷量を求めた(表4)。

轟川から白保礁池へ流入する年間負荷量は、平常時と雨天時合わせて、SS 2,240ton/年、TN 71.5ton/年およびTP 6.6ton/年となる。降雨時の轟川下流におけるSS負荷

表3. 白保と轟川を含む水系における水収支<sup>a)</sup>。(ton/年)

全雨量 <sup>b)</sup>	$400 \times 10^3$
河川水 <sup>c)</sup>	$80 \times 10^3$
地下水量	$8.6 \times 10^3$
蒸発量	$108 \times 10^3$
鉄砲水量	$202 \times 10^3$

a) 渡久山 1991年。  
 b) 1989年における石垣島平均の年間降水量を2,070mmとしたときの水系全体の雨量。  
 c) 中流の通常時流量を2倍して算出。

表4. 白保礁池へのSSおよび栄養塩の年間負荷量。

	年間負荷量 (ton/年)		
	SS	TN	TP
平常時	18	24.4	0.4
雨天時	2,222	47.1	6.2
合計	2,240	71.5	6.6

量の実態調査<sup>29)</sup>では、調査時の降雨エネルギーと実測したSS負荷量の関係式から、那覇の降雨係数を用いて年間SS負荷量を2,980ton/年<sup>9)</sup>および2,100ton/年<sup>9)</sup>と算出しており、ここでの推算値に近い。ところで、上記の調査報告書では、SS負荷量を流出土量に置き換えているが、SS負荷量は侵食土量を表すものではない。すなわち、侵食土量は土壌侵食に伴い、陸域のある場所から別の場所へ移動した土量であり、その全てが水圏に移動するわけではない。また、河川に流入した土壤中の粒径の細かいシルト以下の部分が河川表層水SSの主構成成分となる<sup>17)</sup>ので、土壌の水分散性試験<sup>17,21)</sup>などを参考にすると、流出土量はSS負荷量の数倍～十数倍になると予想される。

また、表3の水収支の試算結果から、地下水から海域への栄養塩の寄与も無視できないと考えられ、白保礁池に流入する年間TN負荷量は地下水中の窒素成分負荷量を加算しなければならない。さらに、海岸沿いの護岸近くに点在する白保集落排水の貯留池の水質は、有機物の流入が多く、富栄養化しており<sup>12,18)</sup>、地下浸透などによる海域への負荷について調査する必要がある。

栄養塩の年間負荷量と流域面積から求めた栄養塩負荷流出原単位を山林、放牧地および畑地からの汚濁負荷流出原単位(文献値<sup>22)</sup>)と比較して表5に示す。TNの負荷流出原単位は轟川流域の土地利用状況がほとんど畑地であることを反映しており、TPの負荷流出原単位の高い値は、土壌流出の影響が大きいことを示唆している。

表5. 轟川流域の汚濁負荷流出原単位。

	汚濁負荷流出原単位 (kg/ha/年)		
	TN	TP	
轟川流域	58	5.3	
山林	2.44-6.94	0.104-0.219	文献値 <sup>22)</sup>
放牧地	1-4	0.1-1.3	#
畑地	20-200	0.05-0.15	#

## 7. 土壌流出に及ぼす土地利用の影響

轟川流域では、島尻マージ土壌を中心に1~2月のサトウキビ収穫後に葉タバコを植え付けることが多い。葉タバコは6~8月にかけて収穫され、その後8~9月にはサトウキビの夏植えが始まる。こうしたことから、サトウキビと葉タバコの輪作あるいはサトウキビ(夏植)のみの作付けの場合、1~3月および6~10月にかけて作物による土地被覆率が低下し、この間の強い降雨により、農地侵食に伴う土壌流出が発生すると予想される。

また、牧草地では草地造成後、トラクターによる踏圧等により株密度が低下し、5~6年で更新される。この間、土壌は堅密化し、浸透能が低下するため、雨水は表流水として流出しやすくなる。表流水は畑面傾斜に沿って畑の一角に集中し、容量の小さい排水溝<sup>23)</sup>から溢れ、水兼道路様の農道を経て、突き当たる下部の畑に流れ込み、農地侵食を繰り返しながら濁水となって、河川に流入すると考えられる。

## 今後の課題

土壌侵食等によって河川に流出した土壌中の粘土鉱物粒子は、塩分が存在する感潮域で瞬時に綿網状の懸濁物質に変化し、その際、栄養塩類等を吸着することが知られている<sup>24)</sup>。また、増水時の懸濁土壌物質中に含まれる吸着態リン酸は海中で急速に溶脱し、沿岸域へのリン負荷源になることなどが報告されており<sup>24)</sup>、海域に流出した土壌微粒子は懸濁態として、また海底に堆積してからも生態系に影響を及ぼすことが考えられる。このようなことから、陸域起源の物質が海洋生態系へ及ぼす影響を解明するためには感潮域および海域における濁質と栄養塩の動態についてさらに研究を進める必要がある。

## 参考文献

- 1) 大森保・渡久山章・大出茂(1986) サンゴ礁の化学水と炭酸塩鉱物からみたサンゴ礁 - 沖縄のサンゴ礁, 琉球大学公開講座委員会, pp.37 - 51.
- 2) 沖縄県環境保健部環境保全課(1994) 平成5年度轟川流域赤土流出実態調査報告書.
- 3) 沖縄県農林水産部(1981 - 1995) 宮良川土地改良事務所事業概要, 昭和55年度~平成4年度.
- 4) 沖縄県農林水産部(1988) 八重山農林土木事務所事業概要, 昭和63年度.
- 5) 大垣俊一・野池元基(1992) 沖縄県石垣島の土地改良事業と白保のサンゴ礁. 日本生態学会誌, 42: 9 - 20.
- 6) 野池元基(1997) 土地改良事業がサンゴ礁を脅かす. 環境を破壊する公共事業, 緑風出版, pp.203 - 214.

- 7) 大見謝辰男・仲宗根一哉・小林孝(1998) 石垣島白保海域の赤土汚染とサンゴ礁の現況. 沖縄県衛生環境研究所報, 32: 113 - 117.
- 8) 満本裕彰・大見謝辰男・小林孝(2000) 石垣島白保海域の赤土汚染とサンゴ礁の現況(第2報). 沖縄県衛生環境研究所報, 34: 121 - 124.
- 9) 沖縄県環境保健部環境保全課(1995 - 1998) サンゴ礁生態系保全調査報告書平成6年度~平成9年度.
- 10) 沖縄県企画開発部(1994) 沿岸海域実態調査(宮古島, 石垣島及び西表島並びに周辺離島).
- 11) 青井透・森邦広(2001) 利根川最上流域本川及び各支川の各態窒素リン濃度の変化. 第35回日本水環境学会年会講演集, p.5.
- 12) 渡久山章・与那覇善栄・平良直秀・広田聖・東田盛善(1991) 石垣島白保における海域環境の化学的調査. 石垣島のサンゴ礁環境. 目崎茂和・編, 財団法人世界自然保護基金日本委員会, pp.183 - 208.
- 13) 沖縄県(1979) 地力保全基本調査総合成績書.
- 14) 佐藤敦久(1987) 第4章2.2 懸濁態栄養塩. 水環境工学, 技報堂出版, pp.75 - 76.
- 15) 橋治国・那須義和(1994) 富栄養化に関連するもの. 8.7全りん. 日本分析化学北海道支部編 水の分析第4版, 化学同人, pp.271 - 273.
- 16) 仲宗根一哉・大見謝辰男・比嘉榮三郎・満本裕彰(2000) 雨天時河川水SSの解析. 沖縄県衛生環境研究所報, 34: 97 - 104.
- 17) 比嘉榮三郎・満本裕彰・仲宗根一哉・大見謝辰男(1998) 県内各種土壌等の侵食特性について. 沖縄県衛生環境研究所報, 32: 83 - 95.
- 18) 沖縄県文化環境部環境保全室(2000) 白保海域環境現況調査報告書.
- 19) 那須義和(1987) 第5章1.4 窒素, リンの月間および年間流出負荷の算出と変動について. 水環境工学, 技報堂出版, pp.109 - 111.
- 20) 海老瀬潜一(1994) 第3章4 流域一括汚濁負荷流達モデル. 河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版, pp.171 - 179.
- 21) 比嘉榮三郎・満本裕彰(2000) 沖縄に分布する土壌等の沈降特性(第2報). 沖縄県衛生環境研究所報, 34: 77 - 84.
- 22) 和田彦彦(1990) 3 ノンポイント汚染源負荷の原単位. ノンポイント汚染源のモデル解析, 技報堂出版, pp.75 - 90.
- 23) 吉永安俊(1986) 造成農地における流出機構の解明. 昭和60年度赤土流出機構及び流出防止対策に関する調査研究報告書, 33 - 45.
- 24) 財団法人海洋生物環境研究所(1998) ニゴリの生成機構と生態学的意義総説.

付表 石垣島轟川河川水分析結果一覧表。

採水地点	採取年月日	採水時の状況	SS (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	DN (mg/l)	DP (mg/l)	塩分 (%)	最大粒子径 (μm)	最小粒子径 (μm)	メディアン径 (μm)	粘土 (%)	シルト (%)	相砂 (%)	備考
①	00/08/19	平常時	6.61	1.43	0.081										
②	00/08/19	平常時	2.26	1.15	0.055										
③	00/08/19	平常時	0.00	0.50	0.035										
④	00/08/19	平常時	0.35	3.44	0.031										先行無降雨3日
⑤	00/08/19	平常時	1.22	2.40	0.033										
⑥	00/08/19	平常時	0.17	2.35	0.029										
⑦	00/08/19	平常時	11.0	1.68	0.023										
<hr/>															
①	00/08/23	雨天時	45.3	1.79	0.133										
②	00/08/23	雨天時	30.3	2.42	0.134										
③	00/08/23	雨天時	51.7	1.42	0.178	0.89	0.062								
④	00/08/23	雨天時	52.0	2.19	0.199	1.56	0.118								日降水量40.5mm, 先行降雨2日
⑤	00/08/23	雨天時	35.4	2.23	0.169										
⑥	00/08/23	雨天時	23.9	2.14	0.157										
⑦	00/08/23	雨天時	38.2	2.11	0.160										
<hr/>															
①	00/08/29	雨天時	23.7	1.66	0.132										
②	00/08/29	雨天時	59.2	1.93	0.164	1.32	0.088								
③	00/08/29	雨天時	14.5	1.72	0.084										
④	00/08/29	雨天時	42.8	2.43	0.328										日降水量40.5mm, 前日降雨47mm/日
⑤	00/08/29	雨天時	63.7	2.06	0.244	1.44	0.148		157.18	0.35	14.00	4.9	60.6	34.6	
⑥	00/08/29	雨天時	61.9	1.84	0.266	1.26	0.154		157.18	0.28	14.30	7.4	56.6	36.0	
⑦	00/08/29	雨天時	8.9	1.71	0.063										
<hr/>															
①	00/08/30	雨天時	41.8	1.90	0.160				157.18	0.43	13.11	4.9	62.5	32.6	
②	00/08/30	雨天時	40.3	2.19	0.160				157.18	0.36	16.41	3.1	55.3	41.6	
③	00/08/30	雨天時	108	2.11	0.280				83.56	0.43	7.76	10.6	76.0	13.5	
④	00/08/30	雨天時	108	2.40	0.370				157.18	0.43	11.56	7.0	63.8	29.2	日降水量94.0mm, 先行降雨2日
⑤	00/08/30	雨天時	60.8	2.29	0.290				194.03	0.35	13.56	5.1	60.4	34.6	
⑥	00/08/30	雨天時	55.6	2.22	0.240				83.56	0.43	9.98	6.0	75.3	18.6	
⑦	00/08/30	雨天時	90.4	2.00	0.270				103.14	0.43	13.72	5.7	62.0	32.3	
<hr/>															
①	00/10/25	雨天時	51.7	1.38	0.170				44.41	0.35	4.35	21.8	74.8	3.4	
②	00/10/25	雨天時	44.3	3.07	0.290				35.96	0.35	3.14	31.7	67.5	0.8	
③	00/10/25	雨天時	157	1.58	0.408				19.12	0.28	2.02	49.0	51.0	0.0	
④	00/10/25	雨天時	128	2.00	0.470				19.12	0.28	2.28	43.4	56.6	0.0	日降水量79.0mm, 前日少雨0.5mm/日
⑤	00/10/25	雨天時	78.0	3.01	0.300				19.12	0.28	2.06	48.3	51.7	0.0	
⑥	00/10/25	雨天時	114	2.66	0.320				19.12	0.28	2.33	42.2	57.8	0.0	
⑦	00/10/25	雨天時	163	2.44	0.290				19.12	0.28	2.40	40.3	59.7	0.0	
<hr/>															
①	00/10/26	平常時	5.11	2.75	0.040										
②	00/10/26	平常時	6.63	1.50	0.056										
③	00/10/26	平常時	8.11	2.16	0.065										
④	00/10/26	平常時	6.88	4.01	0.090										前日降雨79.0mm/日
⑤	00/10/26	平常時	6.67	2.83	0.095										
⑥	00/10/26	平常時	4.33	2.78	0.090										
⑦	00/10/26	平常時	11.3	2.57	0.100										



付表 つづき。

採水地点	採取年月日	採水時の状況	SS (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	DN (mg/l)	DP (mg/l)	塩分 (%)	最大粒子径 (μm)	最小粒子径 (μm)	メディアン径 (μm)	粘土 (%)	シルト (%)	細砂 (%)	備考
①	00/10/29	平常時	5.00	3.02	0.040			0.0							
②	00/10/29	平常時	2.10	1.10	0.030			0.0							
③	00/10/29	平常時	5.00	1.69	0.062			0.0							
④	00/10/29	平常時	2.90	4.39	0.140			0.0							先行降雨5日
⑤	00/10/29	平常時	8.00	2.99	0.080			0.0							
⑥	00/10/29	平常時	2.20	3.19	0.110			0.0							
⑦	00/10/29	平常時	9.00	2.41	0.065			6.1							
①	00/11/05	雨天時	298	1.39	0.320			0.0							
②	00/11/05	雨天時	290	1.66	0.340			0.0							
③	00/11/05	雨天時	39.5	1.67	0.171			0.0							
④	00/11/05	雨天時	607	2.62	0.820			0.0							日降水量70.5mm、先行降雨4日
⑤	00/11/05	雨天時	487	2.12	0.550			0.0							
⑥	00/11/05	雨天時	396	2.32	0.500			0.0							
⑦	00/11/05	雨天時	132	1.79	0.275			0.0							
①	00/12/06	平常時	24.6	3.27	0.054										
②	00/12/06	平常時	31.4	1.18	0.024										
③	00/12/06	平常時	3.75	1.92	0.031										
④	00/12/06	平常時	3.13	5.28	0.028										前日降雨8mm/日
⑤	00/12/06	平常時	5.25	4.48	0.030										
⑥	00/12/06	平常時	4.14	4.68	0.029										
⑦	00/12/06	平常時	7.50	4.00	0.034										
①	01/01/07	雨天時	708	2.10	0.071				103.14	0.35	6.21	14.0	73.6	12.5	
②	01/01/07	雨天時	342	1.56	0.410				54.83	0.35	5.33	15.9	77.7	6.4	
③	01/01/07	雨天時	115	1.61	0.185				67.68	0.35	4.16	21.7	73.0	5.4	
④	01/01/07	雨天時	1,290	4.52	1.530				103.14	0.35	5.78	16.1	69.8	14.1	日降水量42.0mm
⑤	01/01/07	雨天時	887	2.87	1.010				67.68	0.35	5.39	16.5	74.7	8.8	
⑥	01/01/07	雨天時	490	2.81	0.510				54.83	0.28	4.32	20.8	74.8	4.4	
⑦	01/01/07	雨天時	14.6	2.02	0.046										
①	01/01/08	平常時	6.88	1.06	0.028										
②	01/01/08	平常時	6.63	0.62	0.038										
③	01/01/08	平常時	11.3	1.15	0.046										
④	01/01/08	平常時	8.13	2.35	0.049										前日降雨42mm/日
⑤	01/01/08	平常時	8.63	2.20	0.049										
⑥	01/01/08	平常時	7.88	2.25	0.044										
⑦	01/01/08	平常時	6.88	2.10	0.047										

