

調査報告

## 布片への染色を用いた赤土等流出状況調査手法の開発

田代 豊<sup>1)</sup>, 古我知 大

### New Surveillance Method of Red Soil Pollution Using Dyeing of Textile Tissues in Drain Water

Yutaka Tashiro<sup>1)</sup>, Dai Kogachi

#### 要 旨

排水路内を流出する赤土等による濁水に布片（「赤土パッチ・テスター」）を浸漬し、布片が土壌粒子によって染色される程度を指標として、排水路内の濁水濃度を簡単に安価に観測する手法を確立した。室内実験で濃度の異なる濁水に布片を時間を変えて浸漬した結果から、布片の青色明度と彩度は、浸漬後10分間程度でほぼ一定になり、濁水の濃度と良好に相関することが示された。さらに、フィールドで排水路に布片を設置して降雨時に発生する濁水に浸漬させたところ、赤土による染色が確認された。染色程度をデジタル画像解析によって数値化し、これに基づいて濁水濃度を推定することにより、多地点における赤土等汚染発生状況を容易に観測することができた。

**キーワード：**赤土等汚染, 環境調査, パッシブ・サンプリング

#### Abstract

A new, simple, and low-cost surveillance method for red soil pollution has been developed. In this method, textile tissues ('Red Soil Patch-testers') are dipped in turbid water which has become muddy due to the outflow of red soil into drains. Then, the extent of textile dyeing from soil particles is measured and the value is converted into the concentration of muddy water. In the laboratory, textile tissues were dipped in turbid water whose concentration of soil varied. The experimentation showed that the blue luminosity and chroma of the textile tissues became almost constant in about 10 minutes after dipping them in turbid water and each of those values showed good correlation with the concentration of turbid water. In the field, we set the textile tissues in drainage ditches and dipped them in the muddy water which was brought about by rain. We found that the tissues were dyed with red soil. By digitizing the extent of dyeing using the image analysis of digital photographs of dyed tissues and estimating the SS concentrations of drain water based upon those values, we could observe the condition of red soil pollution breakouts in many spots quite easily.

**Keywords:** red soil pollution, environmental monitoring, passive sampling

---

<sup>1)</sup> 名桜大学国際学群 〒905-8585 沖縄県名護市字為又1220-1 Faculty of International Studies, Meio University, 1220-1, Biimata, Nago, Okinawa 905-8585, Japan

## I はじめに

南西諸島では降雨時に陸域から土砂が河川および沿岸海域に流出し、これがサンゴ礁生態系に悪影響を及ぼすことが知られている（大見謝 1996, 大見謝ら 1999）。これまで種々の流出防止対策が提案され、行政による対策事業も実施されてきたが、未だ全面的に解消したとは言えない。このような状況が続く一因は、種々の対策技術には、現場で実施する際の環境条件の違いや施工及び保守管理上の問題等により、本来期待される機能を果たしていない場合があるという点にある（比嘉ら 1994, 満本ら 2000, 神田 2002）。そのため、各発生源において流出防止対策が機能しているかどうかを検証し、必要に応じて対策に修正を加えることが、対策の有効性を確保し流出を止めるために必要である。

これまで、赤土等流出状況の観測方法として、河川や海域の底質中の赤土等粒子含量測定（SPSSおよびSPRS）が有効な手段の一つであり、試料採取や測定の簡便さもあって広範な試料に対する測定が実施されてきた（仲宗根 2001, 大見謝ら 2002）。しかしながら、このような測定は河川流域全体での汚染発生状況を明らかにすることはできても、個々の発生源での流出防止対策の有効性を直接検証することはできない。そのような目的のためには、個々の対策実施場所における発生源からの流出水を直接採取して懸濁物質濃度（SS）などを測定することが必要となる。過去において各地でこのような流出水の採取とSS測定が行なわれてきたが（満本ら 2000）、一般に、個々の発生源から高濃度の濁水が流出するのは、その地点において強い降雨があった比較的短時間である場合が多く、降雨時に現場を巡回することによって多数の発生源からの濁水試料を集めることは容易ではない。また、予め設定した観測地点に自動採水装置を設置して降雨時の流出水を採取する方法もとられるが、大型の装置を設置することができる地点は限られる上に多額の経費がかかるため、ごく限られた地点における観測にしか用いることができない。このような制約のため、各種赤土等流出防止対策の有効性は、モデル地点として設定された限られた地点における観測結果を用いて類推するしかなく、多様な条件下での現場で起こる様々な問題を考慮に入れて対策の有効性を検討することはこれまでできていない。

田代・富山（2011）は、水路内に容易に設置できる小型採水器具（「富山サンプラー」）を開発し、これを用いて農地内の多数の地点における赤土流出発生状況を同時に観測することを実現した。しかしながら、このサンプラーは、水路内の水位が最低でも2 cm程度以上上昇することが必要で、採水が成功しない場合が少なくないという課題があった。本研究の目的は、多数の赤土等流出発

生源における発生状況を直接同時に観測するために、多数の地点に容易に設置できる小型で安価な観測用資材を開発し、これを用いた広範な地点における赤土等流出状況観測手法を確立することにある。

一般に、木綿などの布をPG溶液で処理したものを土壌懸濁液に浸漬すると、土壌粒子が布表面に吸着して布が染色されることは、布地の浸染技法の一つとして広く知られている。本研究ではこの原理を利用し、調査対象とする排水路内に木綿布の小片（「赤土パッチ・テスター」）を設置して降雨時に流出する濁水中に浸漬させ、濁水中的土壌粒子によって染色された布片の色を測定することによって、濁水の濃度を観測する方法を開発した。

## II 方法

### 1 「赤土パッチ・テスター」の調製と染色測定方法

テスターとする木綿布は、市販のシーチング生地を用い、0.5%のPG溶液（株式会社田中直染料店製）に浸漬した後水洗、乾燥したものを、一辺約20mmの正方形に切断した。土壌粒子が吸着した布片は、土壌と同様な色を呈するため、その染色程度を光学的に測定することによって、土壌粒子の吸着量の指標とすることを試みた。染色した布片をデジタルカメラで写真撮影してJPEG画像とし、画像解析ソフトウェア（JPEG Viewer Ver 2.2.0）を用いて、布片画像上の任意の5点の青色明度（B値）および彩度を測定し、平均値を算出した。彩度は画像の色の強さを表す指標であり、また、青色明度は色相の茶色が強まるにつれて小さくなる値であるため、布片が赤土によって茶色に染色した程度を測定する指標となると考えられる。

### 2 濁水によるテスターの染色実験

名桜大学（沖縄県名護市為又）周辺の国頭マージ土壌を採取し、2 mm篩を通して礫等を除去したものを一定量ずつ水道水500 mLに加え、ビーカー中で回転子を用いて攪拌し懸濁させた。沖縄県赤土等流出防止条例の排出基準値が200 mg/Lであることを考慮して、67～5400 mg/Lの土壌懸濁溶液を調製した。なお、これよりも濃度を高くすると回転子による攪拌では土壌粒子の沈澱が著しく、本実験の方法では懸濁溶液の濃度を一定に保つことが困難であった。これら溶液の中に上述のテスターを浸漬し、回転子で攪拌したまま1, 5, 10, 30分間経過後に取り出し、乾燥して染色程度を測定した。

### 3 フィールドでの濁水観測の試行

フィールドにおいて降雨時に発生する濁水をテスターによって測定する過程を試行した。試験は、上述の室内実験で使用した土壌採取地点近傍の道路沿いで、図1に

示す雨水排水路内の6地点にテスターを設置して実施した。テスターは排水路内面のなるべく底部に近い位置(ただし、設置時に水が排水路内にある場合は水に触れない位置)に設置した。

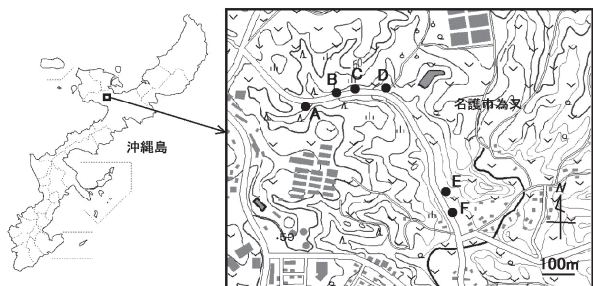


図1 「赤土パッチ・テスター」設置地点図

これら6地点は、A地点からF地点に向けて下り坂となる舗装道路沿いに位置する。A地点はこの道路の側溝排水路(コンクリート製U字溝、幅および深さ約30cm)内にあり、道路に面して立地する土砂置き場の出入口付近からの表流水が、すぐ上流側に流入する。B地点は、A地点とは反対側の側溝排水路内にあり、原野からの表流水が多く流入すると考えられる地点である。C地点はB地点の下流に位置し、両地点の間に、後背の畑地からの排水の流入点がある。D地点は、C地点の下流側に後背の果樹園から流入するコンクリート製U字溝(幅および深さ約20cm)内に設定した。E地点は、さらに下流側に別の果樹園から流入する素掘り排水路の末端に設定した。F地点は、E地点からの流入後の道路側溝排水路内に設定した。

テスターは2013年5月20日に設置し、5月23日午前10時に回収した。この間、気象庁名護特別地域気象観測所では、5月21日に23.0 mm、5月23日午前10時までに17.0 mmの降雨が記録された。両日ともに排水路に濁水が流出している状況が目視でも確認されたため、回収時に地点B、Cにおいて排水路を流れる濁水を採取し、SSを測定した。

回収したテスターは流水で固形付着物を除去し、恒温乾燥器内で105~110℃で乾燥した。これらを、上述の2の実験で得られた染色済みのテスターと並べてデジタルカメラで写真撮影し、画像解析ソフトウェアで各テスター画像内5点の青色明度および彩度を測定し平均値を算出した。

### III 結果

#### 1 濁水による「赤土染色テスター」の染色実験

各濃度の懸濁液にテスターを10分間浸漬後、デジタル写真撮影した画像の彩度および各色の明度を測定した結果から、濁水濃度をx軸(対数)として、濁水濃度と、

それに対応する彩度および各色の明度との散布図を作成した(図2)。また、染色状況の一部を写真1に示した。明度の中では、青色明度が濃度に対応した増加割合が最も大きく、かつ、濃度と高い相関を示した。赤色および緑色明度は、200 mg/L程度以下の濁水による変化が小さく、濁水濃度測定のための指標とするのは難しいと考えられた。また、彩度は濃度に対応して減少し、濁水濃度と高い相関を示した。

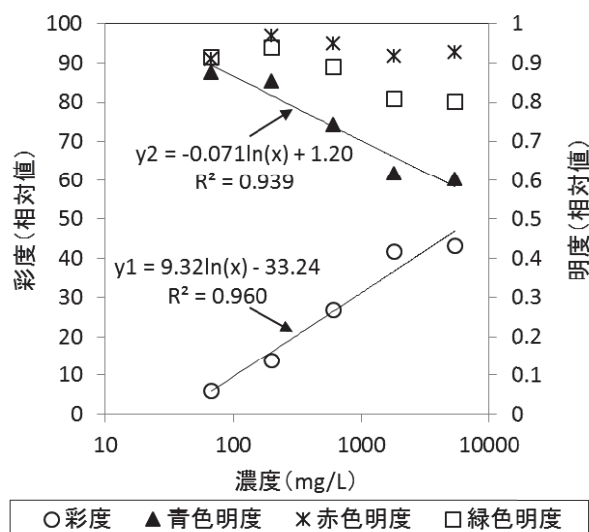


図2 濁水濃度と「赤土パッチ・テスター」の彩度および明度との関係  
(浸漬時間10分、彩度および明度は未浸漬テスターの値を1として示した。回帰式におけるxは濃度、y1は彩度、y2は青色明度を各々表す。)



写真1 染色された「赤土パッチ・テスター」の例  
(10分間浸漬、左から67, 200, 600, 1800 mg/L)

次に、浸漬時間の違いによる青色明度と彩度の変化を図3、4に示した。200, 600, 5,400 mg/Lの懸濁液に浸漬したテスターは、時間の経過とともに彩度が大きくなり、青色明度が小さくなる傾向を示した。67 mg/Lについては、彩度の増加は見られたが、青色明度の変化は認められなかった。彩度、青色明度ともに、時間の経過とともに変化は小さくなり、10分経過以降の変化は明瞭でない場合が見られた。目視上も、浸漬時間10分までは、浸漬時間とともに色が濃くなるが、10分と30分ではほとんど色に差がないものが多かった。

以上の結果により、調査地点近傍で採取した土壌を一定濃度に懸濁した濁水で染色したテスターによって青色明度および彩度と濁水濃度との関係の検量線を準備し、



調査地点の排水路における流出濁水によって染色されたテストターの青色明度および彩度を測定すれば、調査地点で流出した濁水の濃度を推定することが可能であると考えられる。

なお、本実験の過程で、回転子の速度を変化させても染色程度に違いは見られず、排水路にテストターを設置する場合に、排水路内を流れる濁水の流速による染色程度への影響は小さいと考えた。また、一度染色されたテストターは、水道水で濯いでもほとんど脱色しなかったため、フィールドにおいて濃度が変化する濁水中に浸漬されていた場合、テストターの染色程度は、浸漬期間中の最高濃度に対応したものになると考えられる。

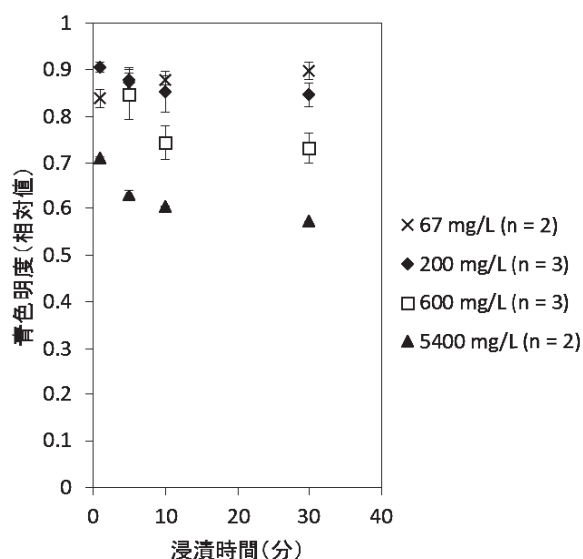


図3 各濃度の濁水への浸漬時間による「赤土パッチ・テストター」の青色明度の変化  
(未浸漬のテストターの青色明度を1として示した)

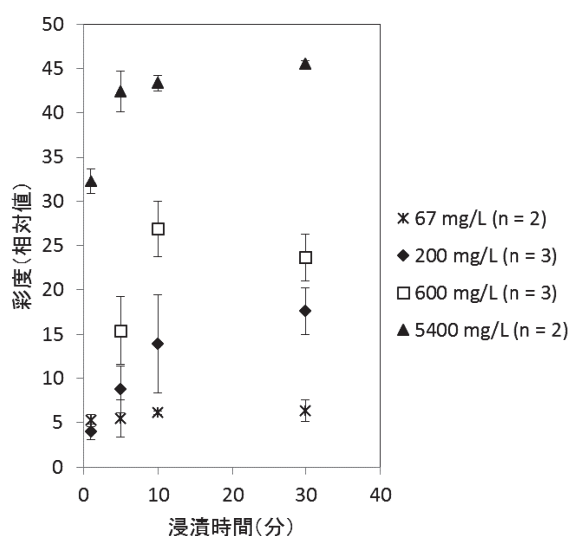


図4 各濃度の濁水への浸漬時間による「赤土パッチ・テストター」の彩度の変化  
(未浸漬のテストターの彩度を1として示した)

## 2 フィールドでの濁水観測

方法3に示した現場試験において回収されたテストターを、方法2の実験で染色されたテストター（標準テストター）と並べてデジタル写真で撮影したものを写真2に示した。標準テストターの青色明度および彩度と濁水濃度との関係を検量線として用い、現場試験で回収されたテストターの青色明度および彩度から各地点において流出した濁水の濃度を推定した結果を表1に示した。なお、ここで使用した検量線は、濁水濃度5,400 mg/L以下のものであったため、それ以上の濃度に相当する染色が見られた地点に関しては、検量線を外挿して濃度を推定した。

濁水濃度の推定値は、いずれの地点も青色明度に基づくものが彩度に基づくものよりも高かった。これらのテストターを観察すると、土壌粒子による黄土色の染色以外に、暗灰色の着色が見られた。この排水路の流域の土壌は主に黄土色であり、テストター回収時に採取した排水路中の水に含まれていたSSも黄土色であった。したがって、これらテストターに生じた暗灰色の着色は、赤土汚染として問題となる懸濁土壌粒子によるものではなく、排水路内に設置されたテストター上で藻類が繁殖したためであると推定された。地点B以外は、いずれのテストターも土壌粒子によると考えられる黄土色の明瞭な染色を示したことが肉眼でも観察され、試験期間中に高濃度の濁水が流出していたことが推定された。一方、地点Bでは黄土色の染色が薄く、この上流に高濃度の濁水を流出させる発生源がないことが推定された。地点Bのテストターにおける黄土色の染色程度を肉眼で標準テストターと比較すると、明らかに1,800 mg/Lよりも薄くて600 mg/Lに近く、青色明度よりも彩度によって濁水濃度を推定した結果に近いものであった（写真2）。

地点Bの下流には、後背の農地からの排水が流入するが、流入点の下流側に位置する地点Cのテストターが著しく染色されており、この農地排水が降雨時に高濃度の赤土を含むことが推定された。テストター回収時に排水路中から採取された水のSSは、地点Bで32.8 mg/Lであったのに対し、地点Cでは171 mg/Lであり、両地点の間に濃度の高い濁水が流入していたことを示していた。なお、これらのSS値はテストターから推定された濁水濃度よりも大幅に低いものであった。これは、回収時は雨量が最も多かった時間帯よりも後であったため、排水路を流れる濁水の濃度がすでに低下していたのに対し、テストターから推定される濁水濃度が、赤土流出のピーク時の濃度を反映したものであったためと考えられる。

さらに、土砂置き場からの表流水が流入する地点Aや、後背の果樹園からの排水路内に設定した地点Dでは、極めて高濃度の濁水の流出が推定された。そして、本調査を実施した水路範囲の最下流側に位置する地点Fの道路側溝内を降雨時に流れる排水は、地点Dの排水の流入

などにより地点Cのものよりは希釈されているものの、3,400 mg/Lという高濃度の濁水であることが示された。以上のように、調査対象地域における降雨時の濁水流出状況を系統的に把握することができた。

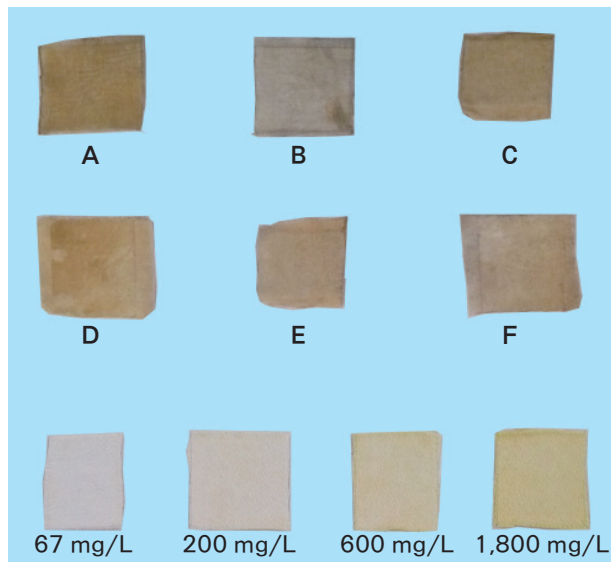


写真2 フィールド試験の各地点（A～F）から回収されたテストターと標準テストター

表1 回収後の「赤土パッチ・テストター」から推定された濁水濃度

地点	青色明度 (相対値*)	彩度 (相対値*)	濁水濃度 (mg/L)	
			青色明度による推定値	彩度による推定値
A	0.32	65	160,000**	31,000**
B	0.57	23	5,400	400
C	0.38	54	65,000**	9,800**
D	0.41	62	49,000**	22,000**
E	0.49	45	15,000**	4,000
F	0.49	43	15,000**	3,400

\*：未浸漬のテストターの値を1とした相対値。

\*\*：検量線を外挿して推定した値。

#### IV 考察

結果1の室内実験により、テストターの染色程度が濁水濃度に相関して強まり、その色を測定することによって濁水濃度を推定できることが明らかになった。また、フィールドでの適用においては、結果2で見られたように、布片上での藻類の繁殖等による着色が生じる可能性があるため、その影響を受けにくい彩度を測定することが、より正確な濁水濃度推定のために適していると考えられる。沖縄県衛生環境研究所では県内各地の赤土等発生源からの濁水を採取しているが、国頭マージ地域裸地からの濁水16試料（急傾斜地からの直接流出および強制排水を除く）のSSは最大15,900 mg/L、中央値1,650

mg/Lであった（満本ら2000）。また、国頭マージの農地31地点からの流出水を測定した結果では、SSが10,000 mg/Lを超える濁水が観測されたのはパイン畑作業道の1地点のみであった（比嘉ら 1998）。表1の青色明度に基づいて推定された地点A、C、およびDにおける濁水濃度は、これら既存のSS観測結果の最大値に比較して大幅に高く、過大な推定値である可能性が高い。一方、彩度に基づいて推定された濁水濃度は、このような既報のSS濃度をやや超える程度のものであった。濁水濃度による彩度の変化が対数関数で近似され、また、標準テストター作成の際に調整できる濁水濃度に限度があるため、高濃度域で濃度推定の誤差が大きくなることは避け難いが、本研究の方法によりテストターの彩度を測定することは、フィールド調査で高濃度の濁水流出地点を探索する目的には十分に有効であると考えられる。今後、さらにフィールド観測等を蓄積し、様々な条件に対応できる精度向上に向けた研究を続けていきたい。

これまで流出濁水濃度の簡易な測定方法として、調査地点で採取された濁水の透視度から流出濁水濃度を推定する方法が広く用いられている。この方法では、調査地点近傍の土砂を用いて濁水を調製し、その濃度と透視度との関係をあらかじめ測定して検量線を作成する。これと同様に、本研究の調査方法も、調査地点近傍の土砂を濃度を変えて懸濁させた濁水を用いて複数の標準テストターを調製し、それらの染色程度と濁水濃度との関係から検量線を作成する。この際、写真2のように、あらかじめ準備した標準テストターと調査時に回収されたテストターとを並べて一枚の写真に撮影し、写真ごとに検量線を作成するように運用すれば、写真の撮影条件による測定結果への影響を避けることが可能であり、撮影条件を厳密に管理する必要も生じない。

本調査方法で用いたテストターは、安価で一般の人にも簡単に調整でき、布の小片であるため様々な場所に設置が可能である。さらに回収後の測定も、乾燥してデジタル写真撮影し簡単な画像解析ソフトウェアで測定するだけで、特別な機材や技術を必要とせず短時間で可能である。これらのことから、本調査方法は一般市民や農家による赤土等流出調査や環境教育の場で利用することも可能なものであると考えられる。

本研究の室内実験の結果からは、テストターが濁水に10分間程度浸漬されればほぼ一定の染色が生じることが示された。これは、本調査方法が、濁水を採水して測定する従来の調査方法では困難であった、降雨時の短時間に多地点で同時に生じる赤土等流出状況の評価を可能とする方法であることを示している。また、一度染色されたテストターは、その後濃度が低下した排水や雨水にさらされても染色がほとんど落ちないので、本調査方法で得られる濁水濃度は、調査期間中の各調査地点における濁水

最大濃度を記録していることになる。さらに、乾燥しても染色に変化はないため、降雨時のみ水が流れるような状況の地点でも観測ができる。同一地点の排水路内に複数のテスターを高さを変えて設置すれば、水路内の水量の変化に伴う濁水濃度の変化を観測することも可能と考えられる。

このような利点を持つ調査方法は、農地などの多数の流出地点が存在する流域において重要な発生源を特定するために、とくに有用であると考えられる。今後、本調査方法のような簡便な方法を用いて広範な流出状況調査を実施することにより、これまで以上に詳細な赤土等発生の現状把握とその原因となる発生源の状態との関連が明らかになることが期待される。

## V 参考文献

- 大見謝辰男著 「赤土堆積がサンゴに及ぼす影響」, 沖縄県衛生環境研究所報, 30, 1996年, pp.79-86
- 大見謝辰男・仲宗根一哉・満本裕彰・小林孝著 「赤土堆積がサンゴに及ぼす影響(第2報)ーサンゴの赤土堆積耐性についてー」, 沖縄県衛生環境研究所報, 33, 1999年, pp.111-120
- 大見謝辰男・比嘉榮三郎・仲宗根一哉・満本裕彰著 「赤土条例施行前後における沖縄沿岸の赤土等堆積状況比較」, 沖縄県衛生環境研究所報, 36, 2002年, pp.77-84
- 神田嘉延著 「赤土問題と地域農業の自立的発展」, 鹿児島大学教育学部研究紀要教育科学編, 53, 2002年, pp.103-123
- 田代豊・奥間栄仁著 「簡易な投げ込み型採水器を用いた沿岸海域赤土汚染調査手法」, 『平成19年度赤土等流出防止交流集会事例集』, 2007年, pp.15-18
- 田代豊・富山徹著 「簡易な水路設置型採水器具を用いた赤土等流出状況調査手法の開発」, 名桜大学紀要, 16, 2011年, pp.69-75
- 仲宗根一哉著 「沖縄島北部地域河川における赤土汚染の現況」, 沖縄県衛生環境研究所報, 35, 2001年, pp.87-92
- 比嘉榮三郎・大見謝辰男・花城可英・満本裕彰・普天間朝好・古堅勝也・田代豊・下地幸枝著 「土地改良事業の赤土流出防止対策とSS濃度の関係について」, 沖縄県衛生環境研究所報, 28, 1994年, pp.73-76
- 比嘉榮三郎・満本裕彰・仲宗根一哉・大見謝辰男著 「農地での土壌流出防止対策とその効果」, 沖縄県衛生環境研究所報, 32, 1998年, pp.73-82
- 満本裕彰・大見謝辰男・比嘉榮三郎・仲宗根一哉著 「流出源濁水のSS濁度について」, 沖縄県衛生環境研究所報, 34, 2000年, pp.125-127