

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：17701
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2011～2012
課題番号：23760466
研究課題名（和文） 山地流域の地形・地質・土壌分類に基づく粒度別土砂生産ポテンシャルの空間的評価
研究課題名（英文） Spatial evaluation of sediment production rates by grain size based on topographical, geological and soil features in mountainous watersheds
研究代表者
齋田 倫範 (SAITA TOMONORI)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：80432863

研究成果の概要（和文）：本研究では、九州南部の川内川上流域を対象とし、細粒土砂生産特性の把握を目的とした浮遊砂輸送量に関する現地観測、ならびに主要な細粒土砂生産地域の特定を目的とした元素組成に基づく土壌特性のマッピングを行った。その結果、支川である羽月川流域で細粒土砂生産能が相対的に高いことや大口盆地南部では平常時に細粒土砂が堆積する傾向にあることが確認された。さらに、原位置元素組成調査によって、土壌の化学的特性に基づく小流域スケールでの地域区分の可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：In this study, field observations on suspended sediment transport were carried out to evaluate fine sediment production rates in upstream sites of the Sendai River basin. And mapping of soil characteristics in the Kakuto Basin were carried out to detect dominant producing areas of fine sediments. As a result of these observations, It is clarified that the Hatsuki River basin, the most major branch of the upper Sendai River, is an area of a relatively high sediment production rate and that the southern part of Okuchi basin is on a depositional trend. In addition, a possibility of area classification on the space scale comparable to small watersheds based on elementary composition of soil is indicated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：水工水理学

1. 研究開始当初の背景

河川流域における土砂生産量の把握は流域の水環境保全や防災の観点から非常に重

要である。河川流域の土砂問題として、出水時に発生するダム湖への土砂流入による治水・利水上の問題(中村ら¹⁾, 角ら²⁾など),

貯留・分級された濁水の放流によるダム下流の生態系への影響などが考えられる。海域では、土砂供給の減少による海岸侵食のみならず、土粒子による栄養塩類の吸脱着が水質の支配要因として指摘されている (Morse・Morin³⁾, 徳永ら⁴⁾など)。水環境悪化が社会問題となった有明海においても、土砂動態の変化に伴う透明度の上昇や底質の質的变化が水環境悪化の一因として指摘されている (宇野木・佐々木⁵⁾)。しかし、土砂生産環境の変遷に関するデータの不足や海域における土砂動態の複雑さから原因解明に至っていない。以上のような背景から、河川流域の土砂流出特性や沿岸域での土砂動態の把握は重要な研究課題といえる。

山地斜面の侵食については、岩石の侵食速度 (Matsuoka・Hirose⁶⁾, Sunamura・Matsukura⁷⁾など) や植生が侵食に及ぼす影響 (三浦⁸⁾, 五味⁹⁾など) に関する知見が理学や農学の分野で蓄積されている。一方、土木工学分野では流域の水・物質循環の視点から分布型流出モデルを用いた研究 (例えば, Cuo *et al.*¹⁰⁾, 安間ら¹¹⁾など) が実施されている。流域内の土砂生産に着目した研究 (ウォンサら¹²⁾, 横山ら¹³⁾) もあるが、防災の観点からダム堆砂量や河床変動量を見積もる研究 (高橋ら¹⁴⁾など) が大勢を占める。また、既存の土砂流出モデルは、地質特性の影響が十分に反映されていない点、発生土砂量のみでの評価に留まっている点で改善の余地が残されている。特に、前述のような種々の土砂問題には、土砂の沈降速度、比表面積、限界掃流力などをとおして土砂粒径が深く関わっているため、生産土砂の質的評価が極めて重要である。以上のことから、流域の水環境保全のためには”どんな粒径の土砂が”, ”流域内のどこで”, ”どれくらいの量” 生産されるかを評価する取り組みが不可欠である。

2. 研究の目的

海域を含む流域全体の土砂管理を行うには、流域での土砂生産機構を理解し、生産される土砂の起源や生産量を精度よく評価する必要がある。地質特性を中心とする流域の地理情報と山地斜面の侵食に関する既往の研究を地理情報システムで統合し、土砂の主な発生源である河川上流域における粒度別土砂生産量の定量的推定手法を確立するのが、研究の最終目標である。本研究では、九州南部の一級河川である川内川上流域を対象とし、土砂生産特性の把握を目的とした浮遊砂輸送量に関する現地観測を実施した。加えて、土砂生産の活発な地域を把握するために、蛍光 X 線分析装置を用いた原位置元素組成調査を実施し、土壌の化学的特性のマッピングを行った。

3. 研究の方法

(1) 観測概要

①浮遊砂輸送量に関する現地観測

川内川中流に位置する鶴田ダム集水域 (Fig. 1) を対象として現地観測を行った。集水域内の主要河川は、加久藤盆地・大口盆地南部を流れる川内川本川と大口盆地北部を流れる支川の羽月川に大別され、これらは鶴田ダムの上流 (Fig. 1 の点線矩形内) で合流する (Fig. 2)。

本研究では、Fig. 1, 2 に示す加久藤盆地下流の吉松橋 (測点①)、大口盆地南部の荒田天神橋 (測点②)、川内川・羽月川合流部下流側の下殿橋 (測点⑤)、ならびに大口盆地北部の堂崎橋 (測点③; 羽月川) と新高津原橋 (測点④; 白木川) の 5 測点で観測を行った。観測では、測点①～⑤の流心において採水し、懸濁物 (SS) 濃度を測定した。採水は、2011 年 10 月～2012 年 9 月に月 2～3 回、2012 年 9 月～2013 年 3 月に月 1 回の頻度で実施した。加えて、2012 年梅雨期には河川の状況に応じて適時採水を行った。川内川本川の水位観測所である測点①, ②, ⑤における採水時の河川流量については、水位-流量曲線を用いて算定した。水位データが存在しない測点③, ④については、羽月川の花北水位観測所の水位データから花北の流量を求め、それぞれの流域面積比に応じて流量を配分した。

②元素分析による土壌特性の把握

本研究では、Fig. 1 に示す加久藤盆地周辺を調査対象とした。加久藤盆地は東西約 15km, 南北約 5km のカルデラ性盆地である。現地調査では、携帯型蛍光 X 線分析装置 (リガク社製 XL3t-950S) を使用し、加久藤盆地内の 228 地点で土壌中の元素組成を測定した。また、蛍光 X 線調査で取得した土壌中の元素含有率を変数として、主成分分析を行った。本研究では、各元素の検出頻度や分布状況を勘案して分析対象を 12 元素 (Zr, Rb, Fe, Mn, Zn, Cu, Th, Ba, Bi, Pb, Co, Nb) に絞り、各元素の含有率を標準化した後に分析に用いた。

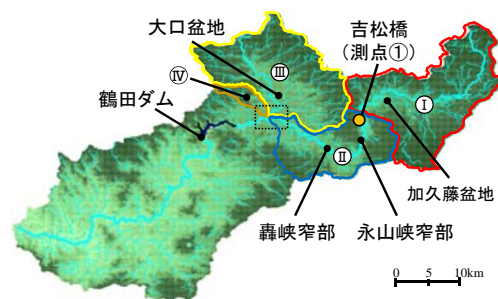


Fig. 1 川内川流域の概略図と測点の位置

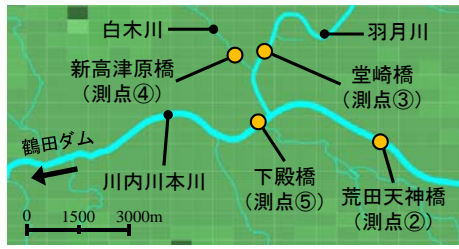


Fig. 2 川内川本川と支川（羽月川，白木川）の合流状況と測点の位置

4. 研究成果

(1) 結果および考察

① 浮遊砂輸送量に関する現地観測

Fig. 3 に流量と SS 輸送量の関係を示す。

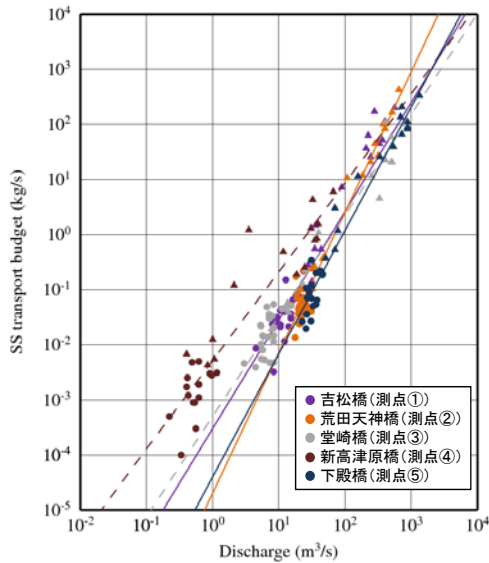


Fig. 3 流量と SS 輸送量の関係

△によるプロットは、出水時のデータを表している。また、図中には式(1)で表される Q_s - Q 式を併せて描いてある。

$$Q_s = \cdot \cdot \cdot Q^{\cdot} \quad (1)$$

ここで、 Q_s は SS 輸送量 (kg/s), Q は流量 (m^3/s), $\cdot \cdot \cdot$ と \cdot は係数である。測点①～⑤の $\cdot \cdot \cdot$ の値はそれぞれ 3.0×10^{-4} , 2.0×10^{-5} , 5.0×10^{-4} , 5.2×10^{-3} , 4.0×10^{-5} , \cdot の値は 2.0, 2.5, 1.8, 1.6, 2.2 であった。支川の白木川 (測点④) では、 \cdot 他の測点と比較して $\cdot \cdot \cdot$ の値が 1~2 オーダー大きく、平常時でも SS 濃度が比較的高いことがわかる。 $\cdot \cdot \cdot$ の値は、川内川本川の測点①, ②, ⑤で 2.0 を超えており、支川と比較して出水時に SS 濃度が高くなり易い傾向を示している。

次に、鶴田ダム集水域の浮遊砂生産特性を検討するために各測点の流量と SS 輸送量を積分し、2012 年の総流量、総 SS 輸送量、および 2012 年の非出水期間の総流量、総 SS 輸送量を求めた。ここで、川内川下流の斧

渾水位観測所における豊水流量 $87.1 m^3/s$ ¹⁵⁾ を集水域面積比で配分し、各測点の流量の閾値 (Table 1) を定めた。この閾値を下回る場合を本研究では非出水時と定義した。

Table 1 各測点の豊水流量

各測点	推定豊水流量 (m^3/s)
吉松橋 (測点①)	18.4
荒田天神橋 (測点②)	27.7
堂崎橋 (測点③)	16.1
新高津原橋 (測点④)	1.2
下殿橋 (測点⑤)	46.5

総流量と総 SS 輸送量の結果を Fig. 4, 5 に示す。川内川本川と支川の羽月川の流域面積比 1:0.6 に対して、年間総流量比は 1:0.6, 非出水時では比 1:0.5 であり、川内川本川上流域と羽月川の比流量は同程度であることが分かる。一方、総 SS 輸送量については、年間総 SS 輸送量比は 1:1.3, 非出水時の総 SS 輸送量比 1:2 であり、羽月川での土砂の生産が川内川本川より活発であることが分かる。合流前の測点②, ③, ④と合流後の測点⑤とで SS 輸送量の収支が合っていない。この点については、測点②から合流部までの距離が長い、あるいは掃流砂が考慮されていないなどの問題があるが、測点②が位置する川内川菱刈地区の河道が堆積傾向にあるという実態と符合している。測点①～④における比 SS 輸送量を計算するとそれぞれ 7.9×10^4 , 1.7×10^5 , 2.4×10^5 , $4.8 \times 10^4 t/km^2/year$, 非出水期間では、それぞれ 2.6×10^3 , 1.8×10^3 , 7.5×10^3 , $3.1 \times 10^3 t/km^2/year$ であった。比 SS 輸送量を比較すると、羽月川流域 (測点③上流) は加久藤盆地 (測点①上流) や白木川流域 (測点④上流) より土砂生産能力が 3~5 倍程高い結果となった。測点③と測点②は同オーダーであるものの、川内川本川の測点②のほうが値が若干小さい。特に、非出水期間の結果を比較すると、測点②は測点③の 1/4 程度の値である。加えて、測点②は上流に位置する測点①より小さい値となっており、大口盆地南部は細粒土砂が堆積しやすい傾向にあることを示唆している。

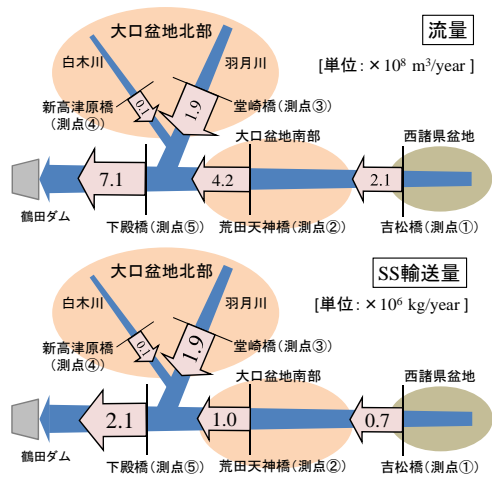


Fig. 4 非出水期間の総流量と総 SS 輸送量 (上図：流量，下図：SS 輸送量)

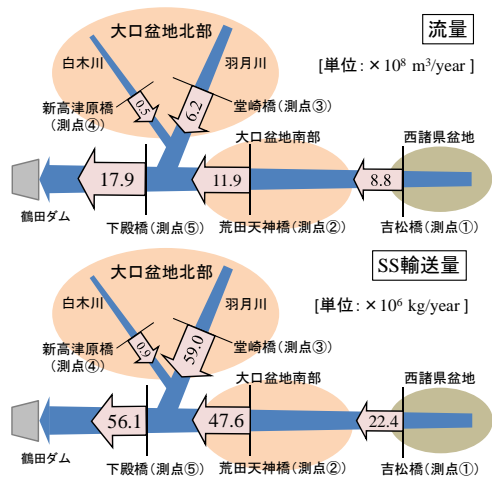


Fig. 5 出水期間の総流量と総 SS 輸送量 (上図：流量，下図：SS 輸送量)

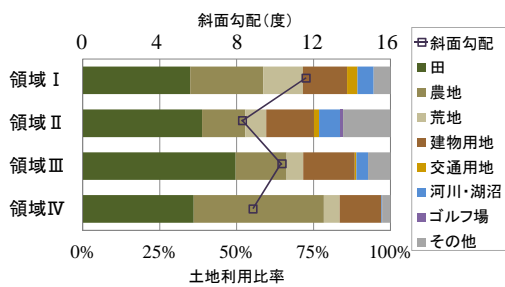


Fig. 6 鶴田ダム集水域の各領域における土地利用と平均斜面勾配

次に、鶴田ダム集水域における土地利用状況と平均斜面勾配を Fig. 6 に示す。測点の位置を考慮して、加久藤盆地（領域Ⅰ）、大口盆地南部（領域Ⅱ）、大口盆地北部（領域Ⅲ）、白木川流域（領域Ⅳ）の4領域（Fig. 1）に区分した。いずれの領域でも森林が約8割を占めていた為、森林以外の土地利用区分のみを図示している。Q-Q_s式における・・・の値が大きかった測点④上流（領域Ⅳ）は畜産が盛んであり、農地の割合が高い。測

点④とともに土砂生産能が相対的に高かった測点③上流（領域Ⅲ）では、水田の割合が比較的大きく、平均斜面勾配も 10.2° と比較的大きいことがわかる。一方、土砂生産能が相対的に低かった測点③（領域Ⅱ）は、平均斜面勾配が 8.4° と最も小さい。

②元素分析による土壌特性の把握

土壌の元素組成分析により、盆地東部に Pb 含有率の高い測点分布しているのが確認された。また、Fe 含有率は盆地北部で相対的に高かった。一般的に相補的關係を持つとされている Sr と Rb の比 Sr/Rb は全体的に 1 以上であり、加久藤盆地は Rb に比べて Sr 含有率が高い傾向にあるといえる。盆地北西部では、特に Rb 含有率が低く、Sr/Rb > 10 となる測点も見られた。一方、北部の一部の測点では Sr が低く、Sr/Rb < 1 となるケースもあった。土壌中元素含有率を変数とする主成分分析結果として、第 1-2 主成分、第 2-3 主成分の主成分得点図を Fig. 7, 8 に示す。なお、主成分分析において、第 3 主成分までの累積寄与率が 80.2% に達することが確認された。主成分分析結果を踏まえ、Pb の有無、Fe、Rb の多寡に基づいて測点を 8 グループに分類した。

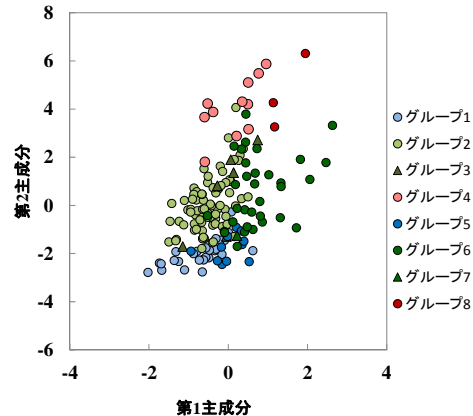


Fig. 7 第 1-2 主成分得点図

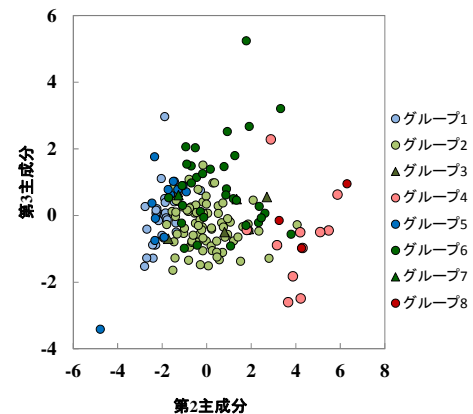


Fig. 8 第 2-3 主成分得点図

加久藤盆地における各グループの分布状況を Fig. 9 に示す。なお、シンボルの色は、

主成分得点図と共通である。まず、他のグループと比較してFeが乏しいグループ1(薄青色)、5(青色)は、川内川本川に沿うように分布しているのが確認できる。また、土地利用形態が水田であった測点のうち61%がグループ1に属しており、溶脱の影響が考えられる。このことから、土壌中の元素組成が土地利用に依存している可能性が伺える。次に、Feの含有率が比較的高いグループ4(薄赤色)、8(赤色)は、盆地北西部の狭い地域に分布している。グループ2(薄緑色)、6(緑色)は、Fe含有率に特徴が見られないグループであり、Pbの有無によってグループ2と6に分類される。Pbが検出されなかったグループ2は南部で多く見られ、盆地南側はPbに乏しい地域と考えられる。一方、盆地北東部ではグループ6に分類された測点が多数みられ、川内川の最上流部～源頭部はPb含有率の比較的高い地域であると考えられる。残りのグループ3、7は、Rb含有率が低い測点であるが、グループ3、7に分類された測点数は、それぞれ6測点、1測点であり、地域的な特徴を見出すには至らなかった。

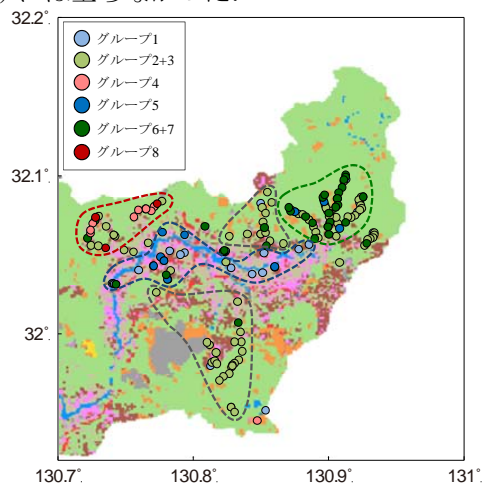


Fig.9 主成分分析による測点の分類結果

(2)まとめ

川内川上流における浮遊砂生産特性を検討した結果、支川である羽月川流域で土砂生産能が高いことや大口盆地南部は土砂が堆積しやすい傾向にあることが確認された。掃流砂量に関するデータが得られていないなど、データの充実化や精査が必要であるものの、後者については川内川菱刈地区の河道が堆積傾向にあるという事実即した結果が得られた。さらに、土壌の化学分析によって、川内川上流の加久藤盆地における土壌特性の把握を試みた。その結果、土壌中の元素組成に基づく小流域スケールでの地域区分の可能性が示された。

今後、元素組成に基づく地域区分に対し

てより有効な元素の検討ならびに地理情報と関連づけた解析を行い、地質特性・土地利用区分ごとの土砂生産能の推定に繋げていく必要がある。浮遊輸送量の観測結果と併せた検討も引き続き実施し、貴重なデータを有効活用する予定である。

参考文献

- 1) 中村昭, 今村瑞穂, 横道雅己 (1980) : 多目的ダム貯水池における濁水長期化調査, 水理講演会論文集, 第24巻, pp.259-264
- 2) 角哲也, 高田康史, 岡野眞久 (2003) : ダム貯水池における洪水時の微細土砂流動特性と捕捉率に関する考察, 河川技術論文集, 第9巻, pp.353-358.
- 3) Morse J. W., Morin, J (2005) : Ammonium interaction with coastal marine sediments: influence of redox conditions on K*, Marine Chemistry, 95, pp.107-112.
- 4) 徳永貴久, 松永信博, 磯野正典 (2006) : 有明海竹崎沖における底泥の栄養塩吸着, 水工学論文集, 50, pp.1471-1476.
- 5) 宇野木早苗・佐々木克之 (2007) : 有明海異変の発生システムについて, 海の研究, 16(4), pp.319-328.
- 6) Matsuoka, Y, T. Hirotsue (1999) : Five-year measurement of weight loss of rock tables due to weathering on a forested hillslope of a humid temperate region, Engineering Geology, 55, pp.69-76.
- 7) Sunamura, T, Y. Matsukura (2006) : Laboratory test of bedrock abrasion by sediment-entrained water flow: a relationship between abrasion rate and bedrock strength, 地形, 27(1), pp.85-94.
- 8) 三浦覚 (2000) : 表層土壌における雨滴侵食保護の視点から見た林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価, 日本林学会誌, 82 (2) pp.132-140.
- 9) 五味高志 (2006) : 土壌侵食と森林-森林斜面から流域の視点へ-, 森林科学, 47, pp.10-14.
- 10) Cuo L., D. P. Lettenmaier, B. V. Mattheussen, P. Storck, M. Wiley (2008) : Hydrologic prediction for urban watersheds with the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model, Hydrological Process, Published online in Wiley InterScience.
- 11) 安間智之, 小路剛志, 伊藤弘之, 藤田光一 (2006) : 流域水物質循環モデルを用いた東京湾と流入河川における水質変遷再

現について, 水工学論文集, 50,
pp. 1880-8751.

- 12) Wongsu S., 清水康行, 岩井聖 (2004) :
流域全体系における土砂動態のモデル化
の試み: 河道形状・土地利用変遷に關
する基礎的検討, 水文・水資源学会誌, 17(6),
pp. 593-606.
- 13) 横山勝英, 藤塚慎太郎, 中沢哲弘, 高島
創太郎 (2008) : 多点濁度観測による筑後
川水系のSS流出・輸送特性に關する研究,
水工学論文集, 52, pp. 553-558.
- 14) 高橋保, 井上素行, 中川一, 里深好文
(2001) : 山岳流域からの土砂流出モデル
を用いた貯水池堆砂の予測, 水工学論文
集, 45, pp. 841-846.
- 15) 日本河川協会 (2001) : H13 年版流量年表.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 3 件)

- ①松竹渉・齋田倫範, 川内川上流域を対象
とした元素分析による土壌特性の把握,
平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会,
2013 年 3 月 9 日, 熊本大学黒髪キャン
パス.
- ②黒岩陽地・安達貴浩・齋田倫範, 川内川
流域への山地降雨流出解析モデルの適用,
平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会,
2013 年 3 月 9 日, 熊本大学黒髪キャン
パス.
- ③松竹渉・齋田倫範, 川内川上流域におけ
る非出水時の浮遊砂輸送量に關する現地
観測, 平成 23 年度土木学会西部支部研究
発表会, 2012 年 3 月 3 日, 鹿児島大学郡
元キャンパス.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋田 倫範 (SAITA TOMONORI)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号 : 80432863