

平成 22 年 6 月 3 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19300306

研究課題名 (和文) 地球温暖化による豪雨の増大に伴う流域地形変化の研究と防災への応用

研究課題名 (英文) Change in drainage basin form in response to rainfall increase due to global warming and applications to hazard mitigation

研究代表者

小口 高 (OGUCHI TAKASHI)

東京大学・空間情報科学研究センター・教授

研究者番号：80221852

研究成果の概要 (和文)：

地球温暖化に起因すると考えられる近年の豪雨と土砂災害の増加を踏まえて、豪雨による山地での土砂の生産・移動・堆積に関する検討を、地形学、気候学、人文地理学の立場から行った。次の5つの成果が得られた。1) 中部日本の詳細なデジタル地形データを用いて、斜面上の開析前線を自動抽出する手法を開発し、崩壊発生危険度を統計的に評価した。2) 日高山地などを対象に、地質の違いが崩壊発生に与える影響を、斜面における水の流動と土層の形成過程を踏まえて評価した。3) 東アジアとニュージーランドを対象に、扇状地とその上流域の地形に関する統計解析を行い、土砂と水の流出に関する特徴と、土砂災害の発生要因を論じた。4) 豪雨を気候学的に補足するために適切な観測点密度を求めた。また、関東周辺における近年の豪雨の特徴を、時間降水量資料やレーダーデータを用いて分析した。5) 主に長野県を対象に住民の防災意識を調査し、地域の防災力を評価した。

研究成果の概要 (英文)：

Considering recent increase in heavy rainfall and sediment disasters in Japan, we investigated sediment production, transportation, and deposition in mountainous areas due to heavy rainfall and their social impacts from the viewpoints of geomorphology, climatology and human geography. For various study areas in East Asia and New Zealand, We assessed 1) landslide susceptibility, 2) effects of geology on landslides, 3) factors affecting alluvial-fan formation, 4) characteristics of rainfall, and 5) efforts of local people for disaster mitigation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2008年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：

科研費の分科・細目：地理学

キーワード：豪雨, 斜面崩壊, 温暖化, 扇状地, GIS, 防災, 日本, 台湾

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

近年、豪雨とそれに起因する災害が増加しており、日本でも 21 世紀には土石流などの土砂災害が件数・被害者の両面で増加傾向にある。この傾向は、基本的に地球温暖化に起因すると考えられており、今後、傾向がより深刻化する可能性が高い。この種の変化が、日本の流域の斜面や河道における侵食や土砂移動と、山麓部における土砂の堆積に与える影響を予測することは、防災のためにきわめて重要である。

更新世末の最終氷期から完新世（後氷期）への移行期には、気温が急速に上昇し、世界各地の環境に顕著な変化が生じたことが知られている。研究代表者は、以前、博士論文等の研究において、最終氷期～完新世の移行期における温暖化と豪雨の増加が、日本の山地と山麓部の地形変化に与えた影響を検討した。これらの研究では、台風や梅雨前線の作用の増大にともなって流水による地形変化が活発化し、山地における「開析斜面」の形成や、それによって生じた土砂供給によって扇状地で堆積が生じたことを指摘した。また、流域の地形が斜面の侵食を通じて完新世の気候環境に適応するためには、かなりの時間を要する場合が多く、その時間の長さが流域の地形・地質条件に応じて変わることも指摘した。

これらの研究の際には、完新世の中における気候変動の影響は相対的に小さいと仮定し、最終氷期と後氷期の境で生じた気候変化の影響のみに焦点をあてた。しかし、上記のように現在生じつつある新たな気候変化は、過去の完新世における変動とは速度が異なり、豪雨が劇的に増加している可能性が高い。したがって、以前に申請者が調査したような豪雨の増加に対する流域の反応が、より高い豪雨のレベルに対応して新たに活性化している可能性がある。たとえば、近年における斜面崩壊や土石流の増加は、従来は比較的安定していた上流域の開析斜面が、豪雨のレベルの上昇に対応して新たに拡大発達を始めたことと関連づけられるかもしれない。

したがって、申請者が以前の研究で用いた方法や研究から得られた知見が、地球温暖化に対する流域の反応とそれに起因する土砂移動・土砂災害を検討する際に有用である可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、上記した研究代表者の過去の研究を踏まえた検討を、現在生じつつある気候変化と地形変化に新たに適用し、地形変化の特徴とその規定要因を詳しく把握する。同時に、最近の地形学における新しい研究方法を取り入れることにより、より高度な研究を

展開する。具体的には、地理情報システム (GIS) と高解像度のデジタル標高モデル (DEM) を活用した地形解析、斜面風化や崩壊に関するプロセス論的モデリング、多量のデータの統計解析に基づく扇状地発達論などに関する研究を、地形学を専門とする研究分担者と共同で進める。

また、本研究は日本付近における豪雨の増加を前提としているため、その傾向を正しく評価するために、気候学者も研究分担者として参加する。さらに、本研究は土砂災害と関連した住民の活動にも示唆を与えるものであるため、流域に着目した研究を行ってきた人文地理学者も、研究分担者として参加する。

3. 研究の方法

本研究で特に重要な対象は、土砂災害が発生しやすい上～中流域である。研究代表者の以前の研究が、山地～山麓の扇状地を対象としていたことと、洪水などの下流域にける災害を扱うためには水理学や土木工学の視点が重要なことを考慮し、本研究でも山地～山麓部を研究対象とする。

日本の山地は主に急峻な斜面で構成されているため、斜面における地形変化が重要である。この課題について、2つのアプローチをとる。一つは、デジタル標高モデル (DEM) と GIS を用いた検討である。特に、航空機レーザによって取得された高解像度の DEM を活用し、開析斜面を含む地形の特徴を詳細に把握する。もう一つのアプローチは、斜面の力学的安定性に基づく研究であり、斜面における水の移動、土層の形成、および地質の特徴を考慮した検討を行う。

斜面から供給された土砂が山間の河道を経て山麓に到達し、扇状地として堆積する過程についても検討を行う。この際には、DEM や GIS を用いた定量的な地形解析、地形図の判読と分析、および現地調査を行って扇状地や河道の特徴を把握し、斜面で生じつつある地形変化と下流での土砂の堆積との相互関係をモデル化する。

上記の研究のうち、DEM、GIS、地形図などを活用した広域的な検討については、変動帯に位置し豪雨が多い急峻な山地を持つ日本全国、台湾、フィリピン、ニュージーランドを対象にする。一方、野外調査を含む詳しい研究については、メンバーの過去の研究や急峻な地形の存在などを考慮し、長野・新潟を含む中部日本と北海道で主に行う。

また、マクロスケールとミクロスケールの両方の気候データを詳細に分析し、近年の豪雨の特徴を気候学的に明らかにする。さらに、流域内の土地利用や土砂移動と関連した水環境に関する人文地理学的な検討や、土砂災害に対する住民の意識に関する研究を行う。

本研究では、地形特性や気候などに関する多数のデータを分析する必要があり、機材を活用した野外調査も適宜必要となるため、地形学や気候学を専門とする大学院生やポストクにも、適宜支援を依頼する。

4. 研究成果

(1)長野県岡谷地区と新潟県中越地域において、近年崩壊が発生した地域を対象に、航空レーザ計測で取得した高解像度地形データ（1 m 解像度の DEM）を分析した。その過程で、斜面上の開析前線と尾根領域を、DEMから自動抽出する手法を開発した。次に、抽出された地形の分布や傾斜や曲率といった一般的な地形指標と、実際の崩壊発生との関連を、数量化第Ⅱ類などの多変量解析を用いて分析し、地形条件と崩壊との関係を検討した。次に、得られた結果を用いて、今後崩壊が発生しやすい場所を予測した（図1～3）。

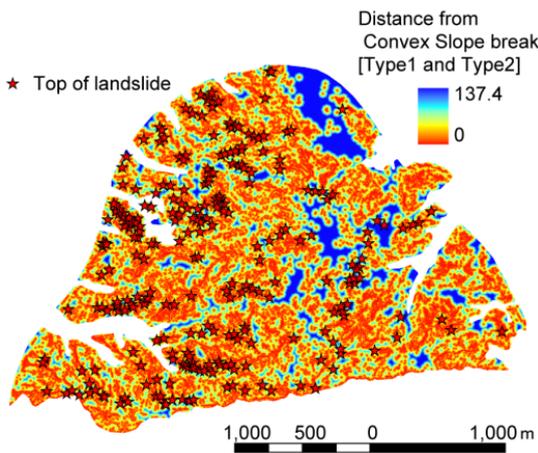


図1 開析前線からの距離を示す地図と崩壊分布（岡谷地区）

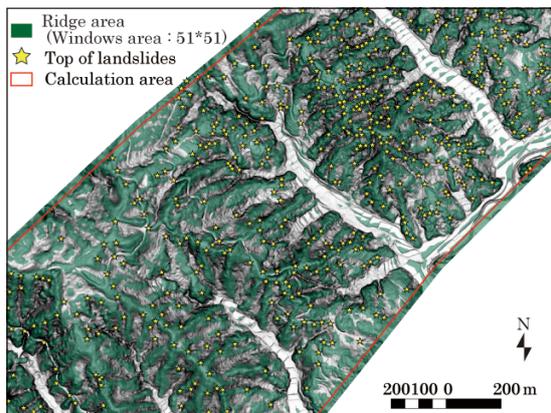


図2 自動抽出された尾根領域（緑）と崩壊頭部（黄）の分布（中越地区）

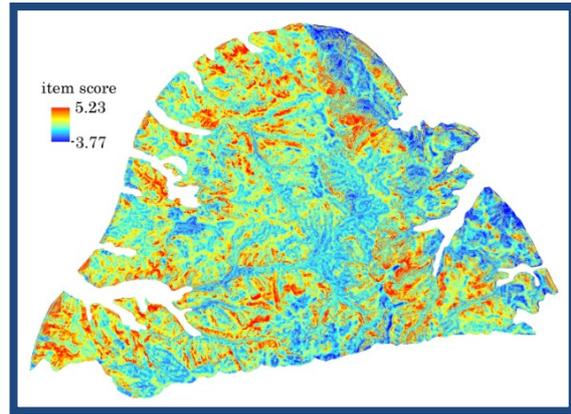


図3 数量化第Ⅱ類に基づく崩壊発生危険度の評価結果（岡谷地区）

(2)北海道日高地方における2003年の表層崩壊の発生と、地形・地質条件との関係を検討した。その結果、地質に応じて地中水の挙動が異なり、それが崩壊の密度や規模の違いをもたらしたことが示唆された。レキ岩地域では、小さな降雨イベントでも表層崩壊が発生し、崩壊後には短期間で不安定な土層が形成される。凝灰質泥岩地域では、急傾斜な斜面下部に限って小規模な崩壊が発生する。泥岩・シルト岩地域では、乾湿風化により土層が厚く、その透水性が高いため、強い豪雨の際にのみ大規模な崩壊が発生する。

また、茨城県多賀山地と愛知県豊田市の表層崩壊地を対象に、拡散方程式による風化モデルを適用して土層の回復時間を推定した。その結果、風化プロセスは拡散型と側方流型に分類でき、土層の回復時間は90～240年と推定された。これらの知見は、地質条件と土層の分布を考慮して崩壊の発生を予測する際に、有用な知見である。

(3)日本、台湾、フィリピン、ニュージーランドの扇状地とその上流域を対象に、地形の規模と傾斜に関する分析を行った。その結果、扇状地の地形よりも上流域の地形に相対的に大きな差異が認められた。また、台湾の大流域では、流域の規模によらず流域と扇状地の勾配が一定になる傾向が見いだされた。これは、単位面積あたりの水と土砂の流出が、流域の規模によらず一定なことを示唆している。日本においても、傾向が相対的に不明瞭で勾配の収束値が異なるという相違はあるが、基本的に台湾と似た傾向が認められた。このことは、日本における広域的な土砂災害の分布予測する際に、重要な知見と考えられる。

また、地形・地質・気候データの統計解析に基づき、上記の四ヶ国において、土砂災害が生じやすい扇状地の形成条件を検討した。分析した9因子・39条件の中では、起伏比の

寄与が最大であり、次いで気候条件の寄与が大きいことが判明した。

(4)気候学的観点から豪雨の変化傾向を分析するために、強雨を補足するために適切な観測点密度を求める方法を検討した。具体的には、観測点間の距離にともなう降水量比の変化から、観測点の降水量が代表する空間範囲を認定した。

次に、気象庁、国土交通省、自治体による多数地点の時間降水量資料を用いて、南関東における夏季の強雨の発現頻度を比較した。その結果、日没後～夜半にかけて、東京都区部を中心に近年強雨が増加していることが指摘された。

また、約 1 km 格子のレーダーデータを用いて、南関東周辺における強雨域の空間構造を検討した。東京・埼玉県境付近では強い降水が狭い範囲に集中する傾向があるが、伊豆半島付近では、強い降水が一様に広がる傾向があり、強雨域の特徴に明瞭な地域差が認められた。

(5)主に長野県を対象に、公助・共助・自助の相互関係という観点から、地域の総合的な防災力を検討した。とくに岡谷市と松本市に関して、詳しい資料を収集した。また、住民の防災意識に関するアンケート調査を行った。検討の結果、公助から共助へ、そして共助から自助へという 2 段階の防災意識の啓発と、アナログで簡便な情報伝達手段の重要性が明らかになった。

本研究を通じて、地形学などの地理学の研究が、人類が直面している重要課題である地球温暖化による環境変化の研究に応用可能なことが示された。このような観点を積極的に打ち出した研究はまだ少ない。本研究は、この種の研究を確立するための、1 つのステップと位置づけられる。今後、本研究で得られた地形・気候・人文に関する研究成果を統合する試みが必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 21 件)

- 1) 斎藤享治, ニュージーランドにおける扇状地の形成条件, 地理学研究報告 (埼玉大学教育学部), 査読無, 29 巻, 2009, 1-12.
- 2) 斎藤享治, 太平洋西縁変動帯における扇状地の分布条件, 埼玉大学紀要 (教育学部), 査読無, 59(1)別冊 1, 2009, 85-98.

- 3) 鈴木博人, 中北英一, 高橋日出男, 雨量計の観測値を用いた降水量の空間代表性の解析. 土木学会水工学論文集, 査読有, 53, 2009, 391-396.
- 4) 田崎俊介, 八反地 剛, 若月 強, 松倉公憲, 北海道日高地方の礫岩地域と凝灰質泥岩地域における表層崩壊地周辺の地中水の挙動, 筑波大学陸域環境研究センター報告, 査読無, 10 巻, 2009, 19-27.
- 5) 山下亜紀郎, 都市用水の水利体系と流域の地域的条件—那珂川流域と鬼怒・小貝川流域を事例として—, 地学雑誌, 査読有, 118, 2009, 611-630.
- 6) 若月 強, 飯田智之, 松四雄騎, 小暮哲也, 佐々木良宜, 松倉公憲, 泥質岩の風化特性が土層形成・斜面崩壊・斜面形状に与える影響. 地形, 査読有, 30, 2009, 267-288.
- 7) Hayakawa, Y.S., Oguchi, T., A GIS analysis of fluvial knickzone distribution in Japanese mountain watersheds, Geomorphology, 査読有, 111, 2009, 27-37.
- 8) Lin, Z., Oguchi, T., Longitudinal and transverse profiles of hilly and mountainous watersheds in Japan, Geomorphology, 査読有, 111, 2009, 17-26.
- 9) Lin, Z., Oguchi, T., Chen, Y.-G., Saito, K., Constant slope alluvial fans and source basins in Taiwan, Geology, 査読有, 37, 2009, 787-790.
- 10) Yamashita, A., Urbanization and the change of water use in Osaka City: Spatio-temporal analysis with data maps, From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management, 査読無, 2009, 571-575.
- 11) Yoshikoshi, A., Adachi, I., Taniguchi, T., Kagawa, Y., Kato, M., Yamashita, A., Todokoro, T., Taniguchi, M., Hydro-environmental changes and their influence on the subsurface environment in the context of urban development, Science of the Total Environment, 査読有, 407, 2009, 3105-3111.
- 12) 鈴木博人, 高橋日出男, 関東平野における降水の空間代表性—鉄道と気象庁の降水量データを用いた統計解析—, 自然災害科学, 査読有, 27 巻, 2008, 161-173.
- 13) 鈴木博人, 中北英一, 高橋日出男, 降雨の空間代表性—鉄道と気象庁の降水量データを用いた解析—, 土木学会水工学論文集, 査読有, No. 52, 2008, pp. 182-192.
- 14) 若月 強, 松倉公憲, 二, 三の花崗岩山地の表層崩壊地における土層形成速度の推定と崩壊周期. 地形, 査読有, 29 巻, 2008, 351-376.

- 15) Hashimoto, A., Oguchi, T., Hayakawa, Y., Lin, Z., Saito, K., Wasklewicz, T., GIS analysis of depositional slope change at alluvial-fan toes in Japan and the American Southwest, *Geomorphology*, 査読有, 100, 2008, 120-130.
 - 16) Hayakawa, Y.S., Oguchi, T., Lin, Z., Comparison of new and existing global digital elevation models: ASTER G-DEM and SRTM-3, *Geophysical Research Letters*, 査読有, Vol. 35, 2008, L17404.
 - 17) Saito, K., Characteristics of mega-fans on the basis of relationships between drainage-basin areas and alluvial-fan areas, Occasional Paper of Department of Geography of Saitama University, 査読無, Vol. 28, 2008, 37-44.
 - 18) Takahashi, H., Long-term variability in the summertime rainfall intensity in Japan: Regional difference and decadal scale variation, 18th International Congress of Biometeorology Proceedings, 査読無, 2008, Variat-S05.
 - 19) 小口 高, 淀み水堆積物 (Slack Water Deposits) による古洪水の復元, *河川*, 査読無, No. 731, 2007, 66-67.
 - 20) Saito, K., Long-term sediment supply in New Zealand based on alluvial fan areas, Occasional Paper of Department of Geography of Saitama University, 査読無, No. 2007, 27, 46-49.
 - 21) Saito, K., Oguchi, T., Lower limit of alluvial-fan slopes in Japan, Occasional Paper of Department of Geography of Saitama University, 査読無, No. 27, 2007, 36-45.
- [学会発表] (計 28 件)
- 1) 土志田正二, 小口 高, 千木良雅弘, 中村 剛, 航空レーザ測量データを用いた開析前線の抽出と評価, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009. 5. 19, 千葉.
 - 2) 高橋日出男, 内山真悟, 大和広明, 大久保さゆり, 高橋一之, 鈴木博人, 2008 年 8 月 5 日の東京都区部短時間強雨時における地上風の発散量時間変化, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009. 5. 28, つくば.
 - 3) 高橋日出男, 大和広明, 清水昭吾, 大久保さゆり, 内山真悟, 高橋一之, 鈴木博人, 2008 年 8 月 5 日に発生した東京都区部短時間強雨時の気温分布と地上風系, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 2009. 11. 27, 福岡市.
 - 4) 若月 強, 八反地 剛, 田崎俊介, 松倉公憲, 北海道日高地方の泥質岩と礫岩地域の斜面崩壊地における土層形成速度について, 日本地形学連合 2009 年秋季大会, 2009. 10. 4, 京都.
 - 5) 若月 強, 松倉公憲, 拡散方程式を用いた表層崩壊地における土層形成速度の推定, 平成 21 年度砂防学会研究発表会, 2009. 5. 27, 広島.
 - 6) Doshida, S., Oguchi, T., Chigira, M., Nakamura, T., Assessment of shallow landslides in relation to dissection fronts extracted from airborne laser scanner data, 7th International Conference on Geomorphology, 2009. 7. 7, Melbourne, Australia.
 - 7) Doshida, S., Oguchi, T., Chigira, M., Nakamura, T., Assessment of landslide susceptibility in relation to low-relief surfaces along ridges using airborne laser scanner data, Asia Pacific Symposium on New Technologies for Prediction and Mitigation of Sediment Disasters, 2009. 11. 18, 東京.
 - 8) Hayakawa, Y.S., Oguchi, T., Hydraulic formation of knickzones in Japanese mountain rivers. American Geophysical Union Fall Meeting, 2009. 12. 15, San Francisco, USA.
 - 9) Oguchi, T., Steep mountainous watersheds in Japan and Taiwan: A geomorphological comparison, International Conference in Commemoration of the 10th Anniversary of the 1999 Chi-Chi earthquake, 2009. 9. 19, 台湾, 台北.
 - 10) Oguchi, T., De Rose, R., Lin, Z., Morishima, W., Collad, M.B., GIS and remote sensing analysis of geomorphology and vegetation change on Pinatubo Volcano, the Philippines, 2009 Korea-Japan GIS International Symposium, 2009. 11. 5, 西帰浦, 韓国.
 - 11) Oguchi, T., Hayakawa, Y.S., Lin, Z., Spatial distribution of topographic slope: frequency, discontinuity and constantness, S4 International Conference, Emergence in Geographical Space: Concepts, Methods and Models, 2009. 11. 25, Paris, France.
 - 12) Takahashi, H., Nakamura, Y., Suzuki, H., Distribution of summertime intense rainfall frequency and the surface roughness in the Tokyo Metropolitan Area, The Seventh International Conference on Urban Climate (ICUC-7), 2009. 6. 29, 横浜.

- 13) Wakatsuki, T., Matsukura, Y., Recovery rates of soil layer in the soil-slip scars on the granitic mountains in Japan, 7th International Conference on Geomorphology, 2009. 7. 11, Melbourne, Australia
- 14) 土志田正二, 小口 高, 千木良雅弘, 中村 剛, 航空レーザ測量データを用いた長野県岡谷地区における傾斜変換線と崩壊分布の空間解析, 日本地形学連合 2008 年秋季大会, 2008. 10. 19, 東京.
- 15) 八反地 剛, 田崎俊介, 若月 強, 松倉公憲, 北海道日高地方における表層崩壊と地中水挙動の関係, 第 47 回日本地すべり学会研究発表会, 2008. 8. 28, 箱根町.
- 16) 牧 健太郎, 小口 高, 早川裕一, 地すべり土塊と滑落崖の地形特性—山地内および山地間での比較—, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008. 5. 29, 東京.
- 17) 林 舟, 小口 高, 斎藤享治, 陳 宇高, 台湾における扇状地と上流域の地形特性, 日本地形学連合 2008 年秋季大会, 2008. 10. 18, 東京.
- 18) 山下亜紀郎, 公助・共助・自助からみた岡谷市の地域防災力, 2008 年度人文地理学会大会, 2008. 11. 9, つくば.
- 19) 若月 強, 松倉公憲, 二, 三の花崗岩斜面における土層形成速度と崩壊周期について. 日本地形学連合 2008 年秋季大会, 2008. 10. 18, 東京.
- 20) 若月 強, 松倉公憲, 愛知県小原村と茨城県多賀山地の花崗岩斜面における土層形成速度の推定, 平成 20 年度日本応用地質学会研究発表会, 2008. 10. 30, 横浜.
- 21) Hayakawa, Y.S., Oguchi, T., Lin, Z, Comparison of ASTER G-DEM and SRTM-3 for West Japan, 10th International Cooperative Seminar between GISA & KAGIS, 2008. 10. 23, 東京.
- 22) Oguchi, T., Post-glacial hillslope incision: a useful concept to understand erosion processes in Japanese mountains. IGU Commission on Land Degradation and Desertification International Conference, 2008. 6. 9, 台湾・台北.
- 23) Saito, K., Characteristics of mega-fans on the basis of relationships between drainage-basin areas and alluvial-fan areas. 5th Int. Workshop on Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, 2008. 10. 8, 函館.
- 24) Wasklewicz, T., Mihir, M., Oguchi, T., Staley, D.M. Recurrent surface complexity in arid and humid debris flow fans, 104th Annual Meeting of the Association of American Geographers, 2008. 4. 18, 米国・ボストン.
- 25) グロスマン=マイケル, 財城真寿美, 小口 高, 20 世紀の関東・北海道における主要河川の年最大流量と台風との関係, 日本地理学会発表要旨集, 2007. 10. 6, 熊本大学.
- 26) 早川裕一, 小口 高, DEM-based analysis on distribution of fluvial knickzones in Japanese mountains: Implications of their formative causes, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007. 5. 20, 千葉・幕張メッセ.
- 27) Saito, K., Long-term sediment supply in New Zealand based on alluvial fan areas, 4th International Workshop on Present Earth Surface Processes and Historical Environmental Changes in East Asia, 2007. 9. 18, 中国・南京.
- 28) Saito, K., Oguchi, T., Lower limit of alluvial fan slope in Japan, Alluvial Fans 2007, 2007 年 6 月 18 日, カナダ・バンフ.

〔図書〕(計 1 件)

小口 高, 村山祐司, 伊藤史子, 青木賢人, 江崎雄治, 堀 和明, 財城真寿美, 香川雄一, 小池司朗, 山内昌和, 藤田和史, 森本健弘, 山下亜紀郎, 渡邊敬逸, 伊藤香織, 財団法人統計情報研究開発センター, シンフォニカ叢書: 人口・居住と自然—GIS による分析—, 2009, 138 p.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小口 高 (OGUCHI TAKASHI)
 東京大学・空間情報科学研究センター・教授
 研究者番号: 80221852

(2) 研究分担者

松倉 公憲 (MATSUKURA YUKINORI)
 筑波大学・生命環境科学研究科・教授
 研究者番号: 80107341
斎藤 享治 (SAITO KYOJI)
 埼玉大学・教育学部・教授
 研究者番号: 60170495
高橋 日出男 (TAKAHASHI HIDEO)
 首都大学東京・都市環境科学研究科・教授
 研究者番号: 40202155
山下 亜紀郎 (YAMASHITA AKIO)
 酪農学園大学・環境システム学部・講師
 研究者番号: 60396794