

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501238

研究課題名(和文) 災害脆弱性評価に向けた日本の沖積平野の地形形成モデルの構築

研究課題名(英文) Formation model of alluvial lowlands in Japan toward vulnerability evaluation

研究代表者

須貝 俊彦 (Sugai, Toshihiko)

東京大学・新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90251321

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災を踏まえた沖積低地の災害脆弱性評価のための基礎として、グローバルな視点から日本の沖積平野の形成史および形成環境を解明した。日本の主要河川の下流側の沖積層は、総じてプリズム状を呈し、その断面積は流域面積と比例的である。東北日本太平洋沖地震においては、プリズムが厚く堆積している場所で、液状化が激しい傾向にあった可能性がある。沖積層は、氷河性海水準変動を通じた海域との相互作用、長期的な地殻変動パターン、河川流域の気候・洪水特性や土砂供給変動の組合せによって形成される。その地域性解明には、数十万年オーダーでの陸から海への物質移動の視点が不可欠である。

研究成果の概要(英文)：On the basis of East Japan great earthquake disaster, toward vulnerability evaluation of alluvial low land, the history of the alluvial plain formation and formation environment was elucidated from a global viewpoint. The alluvial bed of the downstream side of the main river of Japan makes a letter of prism generally, and the cross section is proportional with a basin area. In the northeastern Pacific offing earthquake in Japan, liquefaction might tend to be intense at the place where a prism deposited thick. The alluvial bed is formed by the interaction with the sea area through the glacial sea level change, a long-term crustal movement pattern, the combination of climate, flood properties and sediment supply changes of the river basin. A viewpoint of the mass transfer from the land with the order to the sea is indispensable for the regionality elucidation of alluvial plains for hundreds of thousands of years.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：地理学

キーワード：地形 沖積層 河川 災害脆弱性 海面変動 地殻変動 流域環境 第四紀

1. 研究開始当初の背景

(1) 沖積平野の研究課題をとりまく状況

日本列島を含むモンスーンアジア地域において、沖積平野は、人間活動の中心地のひとつであり、古代文明発祥の地でもある。しかし、沖積平野では、地下水汲み上げや自然圧密に伴う地盤沈下、地球温暖化に伴う豪雨強度の増加や海面上昇、土地開発や都市化によって、災害脆弱性が增大していると考えられている。

日本の沖積平野に関する研究例は多い。高度経済成長期に、道路や鉄道等の建設が相次ぎ、地下資料が増大して、沖積平野研究が進展した。しかし、インフラ整備や都市化が沖積平野の理解を促す一方で、新たに整備されるインフラがリスクエレメントとなるため、結果的に、巨大災害に対する都市の災害脆弱性は増加傾向にある。沖積平野において、安心安全な生活を持続していくためには、沖積平野の生い立ちを明らかにして、その地域性をふまえた土地開発や防災対策を策定すべき時期を迎えている。

(2) 東日本大震災と沖積平野研究

(1)に述べた背景のもと、「災害脆弱性評価に向けた日本の沖積平野の地形形成モデルの構築」をめざして、2011年4月から3か年計画で本研究を開始する直前の2011年3月11日に、東北日本太平洋沖地震が発生した。この巨大地震によって、津波や液状化が広域に発生し、東日本の沖積平野は、甚大な被害を受け、沖積平野の災害脆弱性が露わになった。

(3) 沖積平野研究の方向性

高度経済成長期後、加速器質量計を用いた<sup>14</sup>C年代測定が実用化し、沖積層の年代が百年単位で求められるようになった。他方、最終間氷期以降の気候変化や海水準変動が高い時間分解能で復元されるようになった。加えて、日本と異なる気候帯における沖積平野の比較研究を実施しやすくなってきた。

グローバルな視点から、高時間分解能で、沖積平野研究を行い、研究成果を蓄積していくことが、防災・減災を着実に進めるうえでも必要と考えられる。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究の全体目的を「災害脆弱性評価のための沖積平野の地形形成モデルの構築」とした。より具体的には、次の(1)~(3)の3つの個別課題の解明を目的とした。

(1) 最終氷期以降の海面上昇に対する河川システムの応答過程の解明

(2) 東日本大震災を踏まえた沖積低地の災害脆弱性の統合的評価手法の開発

(3) 超長期およびグローバルな視点に立った

日本の沖積平野の形成史および形成環境の特質の抽出とモデル化

3. 研究の方法

(1) 目的(1)を達成するために、

日本全国の主要50河川の下流域とその延長部の陸棚を対象として(図1)沖積層基底地形、沖積層の層厚分布の河川縦断方向の変化、並びに内湾泥層の分布を、既存の個別研究のレビュー等によって、明らかにする。

を基に、最終氷期以降の海面上昇に対する河川システムの応答過程 - とくに海進から海退への転換期 - を解明する。

の応答過程の地域性について、上流の集水域特性や下流の陸棚特と関連させて究明する。

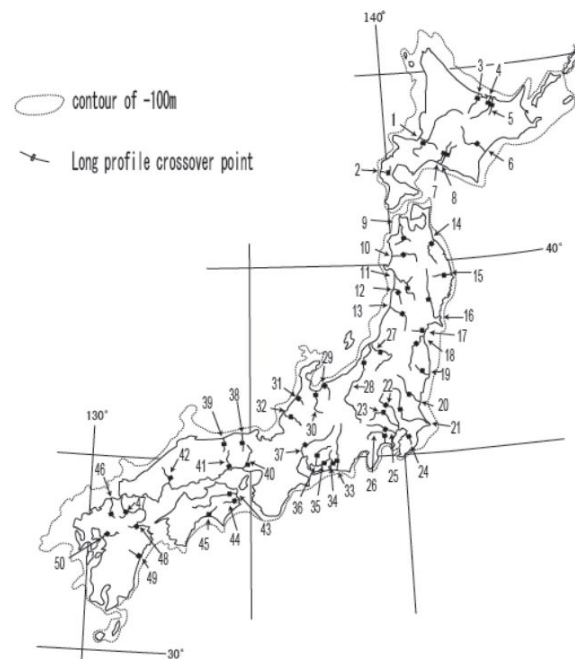


図1 本研究対象とした日本の50河川の分布  
黒四角のポイントは沖積層の分布の内陸端点の位置を示す

(2) 目的(2)を達成するために、

東日本震災で被災した沖積平野の現地調査を復適宜実施し、沖積平野の地形条件と液状化・津波動態との関係性について検討する。

海面上昇と河川の土砂供給のバランスを考慮したうえで、沖積層 - とくに内湾泥層 - の分布を説明するモデルを構築する。内湾泥層の陸側への侵入実績をもとに、海面上昇のリスク評価を行う。

過去の震度分布データと沖積層および内湾泥層の分布とを重ねて、液状化発生における沖積層および内湾泥層の関与について検討する。

(3) 目的(3)を達成するために、比較地理学的視点から、

海面変動に伴う沿岸海底の堆積環境、および、後背陸域の環境変化の復元、

関東平野と濃尾平野の過去 40 万年間の平野の形成史の復元、

気候帯の異なるカンボジアとカザフスタンの沖積低地の完新世発達史の復元、を行う。

#### 4. 研究成果

上述した(1)～(3)の目的・方法ごとに記す。

(1) 日本の主要河川の下流側の沖積層は総じてプリズム状を成し、その断面積は、基本的に流域面積と比例的であることが判明した(本多・須貝、投稿準備中)。

海面上昇に対する河川の応答は、上流からの物質供給の影響を強く受けており、たとえば、荒川では関東山地からの流入河川の土砂供給の影響が顕著であったために、東隣の中川(旧利根川)と比べて、海進規模が小さく、海進から海退へのタイミングが早かったことが明らかとなった(Ishihara and Sugai, 2013; 図2)。

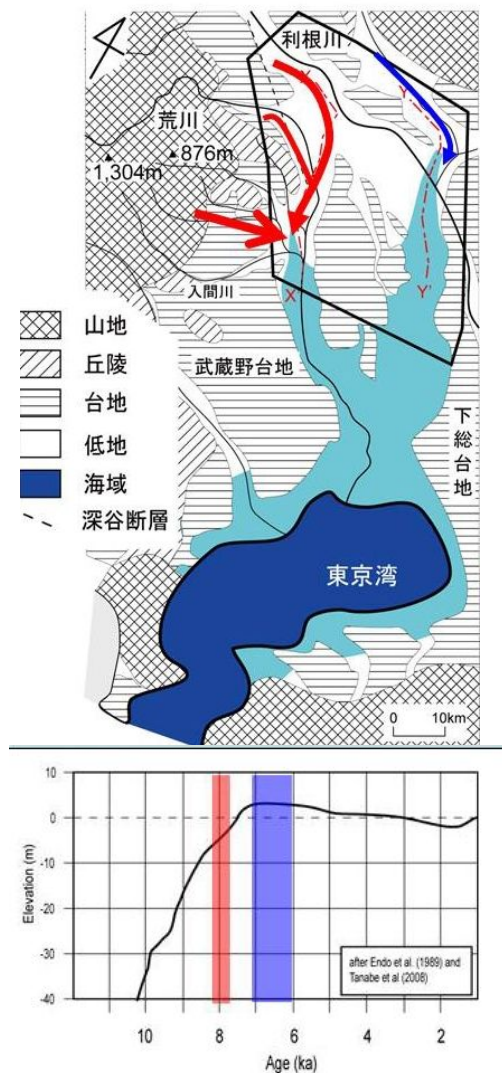


図2 縄文海進で溺れ谷化した荒川・中川(旧利根川)河谷への主要な土砂供給ルートを示した図(上)と、海進から海退への変化時期(赤:荒川、青:中川)のグラフ(下)ともに Ishihara and Sugai (2013)に基づく

(2) 東北日本太平洋沖地震においては、沖積平野のなかでも細粒な軟弱層が厚く堆積している場所で、液状化が激しい傾向にあった可能性が明らかとなった。とくに、利根川下流低地と東京湾岸低地(盛土造成地含む)の液状化と沖積層の層厚の間に、一定の相関が認められた。

また、過去の液状化実績の結果と(1)で明らかにした沖積層分布とを比較した結果、沖積層の層厚が20~30m以上の地域で、液状化が生じやすい可能性が明らかとなった。

以上の成果は、工学的基盤面ないし、それよりも浅部における地層境界面である沖積層基底面(主として基底礫層堆積面、埋没段丘礫層堆積面の場合もある)の分布が局所的な地盤変動に影響を与えていることを強く示唆する。

なお、海成層の分布は、氷期の河谷地形に規定される傾向にあることが判明した。しかし、沖積平野の脆弱性に与える影響に関しては、海成層の堆積範囲を既存文献によって明確に決定できる河川は30前後以下と少ないこと、内陸側の分布限界付近では砂層の場合もみられること、などから、さらに検討を要すると結論した。

(3) 日本海上越沖の海底堆積物は、氷期に細粒化し、間(後)氷期に粗粒化することが判明した(滝澤ほか, 2014など)。ただし、粗粒化のタイミングは、氷河性海水準上昇のタイミングよりも数千年遅れることを突き止めた。この間、内湾奥に陸源物質がトラップされやすい環境が継続し、結果的に堆積体が陸側へ移動したと推定された。現沿岸海底および沖積平野下において、堆積速度およびフラックスの変動の詳細を評価していく必要がある。

日本最大の面積をもつ関東平野は、台地の面積割合が高い。沖積平野は、海進時のエスチュアリー(図2に一部を示す)を埋めるように細長く発達する。同時に、沖積層の層厚は比較的厚く、上流側まで長距離伸びている(本多・須貝, 2011)。このよう特徴は、第四紀後半の氷河性海水準変動と関東造盆地運動がもたらしたことが明確になった。すなわち、各間氷期における海進規模は氷河性海水準変動と調和的であったけれども、長期的には、海進規模は縮小しており、MIS 1の縄文海進はとくに小規模化した。関東平野の内部に注目すると、沈降運動と堆積場の形成が続いている関東造盆地運動の中心部(図3、鷲宮)に比べて、MIS 5以降隆起に転じた可能性の高い周辺部(図3、板倉)では、地殻変動のかさ上げ効果によって、沖積層の堆積場が氷期の河谷内に限定され、MIS 1海進(縄文海進)の海面は河間地の標高に達しなかったことが分かった。同時に、荒川・(旧)利根川などの主要河川の上流側が相対的に沈降場に置かれていることや、さらに上流からの

土砂供給が活発なために、沖積層の層厚が上流へ減少しにくい環境にあると考えられる。

このように、沖積層は、氷河性海水準変動を通じた海域との相互作用、長期的な地殻変動パターン、河川流域の土砂供給変動などの組合せによって、形成されている。したがって、その地域性を解明するには、数十万年オーダーでの陸から海への物質移動の視点が不可欠であることが明らかとなった。

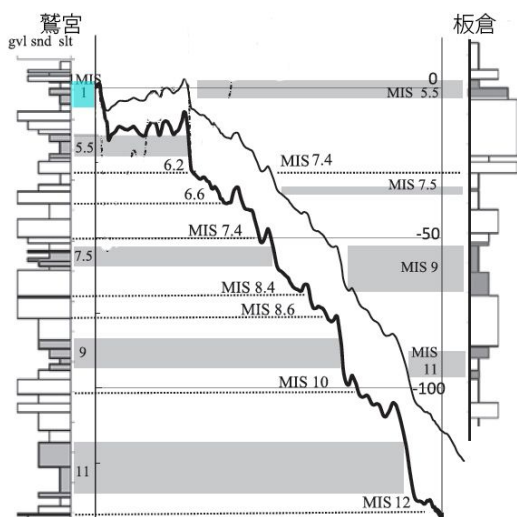


図3 関東平野中央部鷺宮と板倉の堆積曲線と柱状図の対比。長期的な地殻変動と氷河性海水準変動の組合せによって沖積層の堆積空間の上限がコントロールされる。須貝ほか(2013)を簡略化

カンボジア・セン川、カザフスタン・イリ川、エジプト・ナイル川の平野調査を実施し、河道付近の地形形成環境が日本と大きく異なることを示すとともに、沖積平野の基底地形が最終氷期に形成されている可能性を明らかにした。

熱帯モンスーンのカンボジアでは、雨季の増水時に、浮流物質が氾濫原一面に薄くオーバーラップすることの繰り返しで、平野が形成されてきた(Nagumo ほか 2013)。

乾燥地域のイリ川では、上流での融雪洪水が河床上昇をもたらし、流路変更が生じて沖積平野が形成されてきたこと、流路が離れて千年以上経過すると砂丘卓越地形に変化し、河川と風のプロセスのせめぎあいのなかで、平野が形成されてきた(須貝ほか, 2012; 清水ほか, 2013 など)。

#### 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15件)

須貝俊彦・松島紘子・水野清秀(2013) 過去40万年間の関東平野の地形発達史 地殻変動と氷河性海水準変動の関わりを中心に - 地学雑誌, 122, 特集号東京一過去・現在・未来- (Part 1) 921-948. 査読有

須貝俊彦・若林 徹・石原武志・仲村佑哉・アントニオ フェルナンド フレイレ・松本良(2013) 日本海東縁コア MD179-3296、3304 の後期更新世以降の明度変動 . 石油技術協会誌, 78-2, 210-213. 査読有

仲村佑哉・須貝俊彦・石原武志・アントニオ フェルナンド フレイレ・松本良(2013) 日本海ガスハイドレート調査で得られた上越沖底堆積物の後期更新世テフラ層序 . 石油技術協会誌, 78-1, 79-91. 査読有

Nagumo, N., Sugai, T. and Kubo, S. (2013) Late Quaternary floodplain development along the Stung Sen River in the Lower Mekong Basin, Cambodia. *Geomorphology*, 198, 84-95. 査読有

須貝俊彦(2013) 地理教育で教えるべき自然地理用語 . 歴史と地理, 663, 41-49 . 山川出版 . 査読無

若林徹・須貝俊彦・笹尾英嗣(2012) 濃尾平野沖積層の重金属. *地学雑誌*, 121, 441-459. 査読有

Niwa, Y., Sugai, T. and Yasue, K. (2012) Activity of the Yoro fault system determined from coseismic subsidence events recorded in the Holocene delta sequence of the Nobi Plain, central Japan. *Bulletin Seismological Society of America*, 102, 1120-1134. 査読有

Ishihara, T., Sugai, T. and Hachinohe, S. (2012) Fluvial response to sea-level changes since the latest Pleistocene in the near-coastal lowland, central Kanto Plain, Japan. *Geomorphology*, 147-148, 49-60. 査読有

Yoshida, H., Sugai, T. and Ohmori, H. (2012) Size-distance relationships for hummocks on volcanic rockslide-debris avalanche deposits in Japan. *Geomorphology*, 136, 76-87. 査読有

南雲直子・須貝俊彦・久保純子(2012) 2011年カンボジア洪水とセン川下流平野の微地形 . *地理* 57-6, 18-24 . 査読無

須貝俊彦・清水整・佐藤明夫(2012) イリ川支流クルティ川の完新世における河床変動と段丘形成 . *オアシス地域研究会報*, 9, 37-43 . 査読無

須貝俊彦(2011) 1586年天正地震養老断層震源説を示唆する地形地質学的記録 . *活断層研究*, 36, 15-29. 査読有

本多啓太・須貝俊彦(2011) 第四紀後期における日本島河川の河床縦断面形の変化 . *地形*, 32-3, 293-315. 査読有

〔学会発表〕(計45件)

石川怜志・須貝俊彦(2014) 天井川の発達過程と形成要因、日本地理学会講演要旨、85、p08 . 2014年3月27~28日、東京、国士館大学

佐々木夏来・須貝俊彦(2014) 八幡平火山群の大規模地すべり地における湿地の分布と発達過程 . 日本地理学会講演要旨、85、613. 2014年3月27日、東京、国士館大学

滝澤みちる・須貝俊彦・松本良(2014) MD179 海底コアの粒度変動からみた日本海上越

沖とその周辺域における最終間氷期以降の環境変動 .日本地理学会講演要旨、85、p016 . 2014年3月27~28日、東京、国土館大学

丹羽雄一・遠田晋次・須貝俊彦・山市剛 (2014) オールコア試料の解析に基づく陸前高田平野更新統の堆積過程 (予察)、日本地理学会講演要旨、85、p10 . 2014年3月27~28日、東京、国土館大学

須貝俊彦 (2013) 液状化分布域を規定する発達史地形学的要因 .日本地理学会講演要旨、84、S0403、2013年9月28日、福島、福島大学

須貝俊彦・遠藤謙・石原武志・松本良 (2013) 日本海上越沖 MD179-3304 コアから復元された過去 10 万年間の環境変動と飛騨山脈における氷河消長との関わり .日本第四紀学会講演要旨、43、2013年8月22日、青森、弘前大学

清水整・須貝俊彦・佐藤明夫・近藤玲介・遠藤邦彦 (2013) カザフスタン・イリ川中流域の地形形成面の編年と地形発達史 .日本第四紀学会講演要旨、43、2013年8月22日、青森、弘前大学

江連靖英・須貝俊彦・松四雄騎・松崎浩之 (2013) 木曾山脈大関カールにおける宇宙線生成核種  $^{10}\text{Be}$  濃度分布から推定される積雪による宇宙線遮蔽効果 .日本第四紀学会講演要旨、43、2013年8月22日、青森、弘前大学

Ishikawa, S. and Sugai, T. (2013) The Development of Tenjogawa (the Raised Bed River) and human impacts in the lower reach of Kizugawa River. Environment evolution session, IGU Kyoto Regional Conference .2013年8月6日、京都、京都国際会議場

Ishihara, T. and Sugai, T. (2013) Comparison of landform evolution between two major fluvial lowlands in the greater Tokyo area since the latest Pleistocene, Japan. Environment evolution session, IGU Kyoto Regional Conference . 2013年8月6日、京都、京都国際会議場

Nagumo, N., Sugai, T. and Kubo, S. (2013) Flood geomorphology and in-channel modern deposits in the lower Mekong basin, Cambodia Environment evolution session, IGU Kyoto Regional Conference .2013年8月6日、京都、京都国際会議場

Shimizu, H., Sugai, T., Kondo, R., Sato, A., Montani, H. Nakayama, Y. and Endo, K. (2013) Late Quaternary Avulsion history of the lower Ili River, Central Eurasia controlled by climate and Balkhash lake level changes. Environment evolution session, IGU Kyoto Regional Conference . 2013年8月6日、京都、京都国際会議場

佐々木夏来・須貝俊彦 (2013) 八幡平火山大谷地湿原の形成過程と地すべり活動の関係、日本地理学会講演要旨、83、P043 . 2013年3月29~30日、埼玉、立正大学 .

石川怜志・須貝俊彦 (2013) 木津川下流域

における天井川の発達過程、日本地理学会講演要旨、83、p051 . 2013年3月29~30日、埼玉、立正大学 .

石原武志・須貝俊彦 (2013) 荒川・妻沼低地と中川・渡良瀬低地の幅からみた地形発達比較、日本地理学会講演要旨、83、536 . 2013年3月29~30日、埼玉、立正大学 .

須貝俊彦 (2012) 養老断層の断層活動に伴う断層崖麓扇状地の形成、日本地理学会講演要旨、82、p016 . 2013年3月29~30日、埼玉、立正大学 .

須貝俊彦・清水整・佐藤明夫ほか (2012) バルハシ湖流入諸河川の完新世における同期的河床変動と古気候変動 .日本地球惑星科学連合大会、HQR23-08. 2012年5月25日、千葉、幕張メッセ

仲村祐哉・須貝俊彦・石原武志・アントニオ フェルナンド フレイレ・松本良 (2012) 上越沖海底コアに挟在する 31 枚の後期更新世テフラの噴出年代 .日本地球惑星科学連合大会、HQR23-P11 .2012年5月25日、千葉、幕張メッセ

丹羽雄一・須貝俊彦・大上隆史 (2012) 完新世相対的海面変化の空間的差異から認定される濃尾傾動運動 .日本地球惑星科学連合大会、HQR23-P03. 2012年5月25日、千葉、幕張メッセ

Sugai, T., Sugiyama, Y., Mizuno, K. and Sato, T. (2011) Last 900 ka sea-level changes recorded in shallow marine and coastal plain sediments of the Nobi-tilted basin, Japan. INQUA XVIII Congress .2011年7月26日、スイス、ベルン

② Sugai, T., Sasaki, Y., Ohno, Y., Nishizaki, N., Ikeda, M., Yanagida, M., Kojima, K. and Morita, Y. (2011) Last 600 ka terrestrial environment changes reconstructed from analysis of the Uwa Basin-fill Sediment, SW Japan. INQUA XVIII Congress .2011年7月26日、スイス、ベルン

③ Sugai, T., Endo, K., Montani, H., Haraguti, T., Chiba, T., Shimizu, H., Sato, A., Nakayama, Y., Nakamura, A., Aubekerov, B., Sala, R., Jean M., Kubota, J. (2011) Holocene climatic changes of the Balkhash lake region, Kazakhstan reconstructed from high-resolution XRF scanning analyses of the lake sediments coupled with geomorphic investigations of the catchment area. INQUA XVIII Congress. 2011年7月26日、スイス、ベルン

④ Endo, K., Sugai, T., Haraguti, T., Suzuki, S., Matsuoka, H. and Nakao, Y. (2011) Holocene environmental evolution based on Balkhash lake cores in Central Eurasia. INQUA XVIII Congress. 2011年7月26日、スイス、ベルン

⑤ Niwa, Y. and Sugai, T. (2011) Coseismic subsidence recorded in the Holocene delta sequence of the Nobi plain at the footwall side of the Yoro fault. INQUA XVIII Congress. 2011年7月26日、スイス、ベルン

⑥ Nagumo, N., Sugai, T. and Kubo, S. (2011) Pre-Angkor capital city and surrounding

geomorphology in lower reach of the Stung Sen River, central Cambodia. INQUA XVIII Congress. 2011年7月26日、スイス、ベルン

〔図書〕(計5件)

須貝俊彦(2012): 沖積低地はどのような場所につくられるか. 海津正倫(編) 沖積低地の地形環境学、古今書院、第2章 1-15

須貝俊彦(2012) 濃尾平野の形成場. 海津正倫(編) 沖積低地の地形環境学、古今書院、第10章 101-115

遠藤邦彦・須貝俊彦・原口 強・中山裕則・千葉 崇(2012) 中央ユーラシア環境史1 環境変動と人間「中央ユーラシアの古環境復元—アイスコア・湖底堆積物・年輪による復元」. pp.72-123、臨川書房.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

須貝俊彦 (SUGAI, Toshihiko)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号: 90251321