

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：32665
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2020～2022
課題番号：20K04712
研究課題名(和文) 熱帯氷河の下流に形成される湿地・氷河湖の水文学的機能の解明と水資源への影響評価

研究課題名(英文) Exploring hydrological functions of wetlands and glacial lakes in the downstream areas of tropical glaciers and their impacts on water resources

研究代表者
朝岡 良浩 (ASAOKA, Yoshihiro)
日本大学・工学部・准教授

研究者番号：00758625
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は熱帯氷河の下流に形成される湿地と氷河湖の分布を明らかにした。湿地の水域はSentinel-1衛星のCバンド合成開口レーダから算出した後方散乱係数、WorldView衛星の光学センサから算出した正規化植生指数と正規化水指数を組み合わせて月単位で抽出した。氷河湖の抽出には後方散乱係数を用いた。対象地域のトゥニ貯水地(ボリビア多民族国)の集水域では集水面積に対して湿地水域の占有率が9.7%(乾季)から22.3%(雨季)まで変動すると推定した。また、3つの集水域の湿地面積は上流に分布する氷河面積に関係することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は氷河下流の湿地や氷河湖の分布を推定する手法を開発した。複数の衛星データ(Cバンド合成開口レーダと光学センサ)を組み合わせて天候の影響を受けずに推定可能である。また、熱帯氷河下流の湿地水域の変動を示した研究事例は少なく、湿地水域の変動を月単位で推定したことは大きな成果といえる。氷河・湿地・氷河湖の分布する流域の水循環理解に向けて重要情報になりうる。アンデス高地では山岳都市の多くが熱帯氷河の融解水を主要な水資源の1つとして利用している。気候変動下の水資源管理において氷河・湿地・氷河湖を考慮した水循環の理解は社会的にも有益と考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study showed the distribution of wetlands and glacial lakes which are formed in the downstream area of tropical glaciers. Monthly water bodies of the wetlands were extracted by combining backscatter coefficients derived from the C-band synthetic aperture radar of the Sentinel-1 satellite, and normalized vegetation index and normalized water index derived from the optical sensors of the WorldView satellite. Backscatter coefficients was also used to extract glacial lakes. We estimated that the occupancy of wetland waters was from 9.7% (dry season) to 22.3% (rainy season) of the catchment area of the Tuni reservoir in Bolivia. We also showed that the area of wetlands is possibly to be associated with the area of glaciers which distribute in their upstream.

研究分野：水文学

キーワード：氷河融解 衛星観測 Sentinel-1 Cバンド合成開口レーダ 後方散乱係数 WorldView 正規化植生指数 ボリビア多民族国

1. 研究開始当初の背景

本研究はアンデス高地の中で熱帯収束帯付近(南緯 16°)に分布する熱帯氷河とその下流域の湿地・氷河湖を対象とした。熱帯氷河は世界の山岳氷河の中でも気候変動に脆弱という特徴を持つ。申請者は対象地域の過去 7 年(2019 年 10 月時点)の水文・気象モニタリングデータを蓄積し、気候変動による氷河後退の実態と融解機構の解明、氷河後退に伴う水循環・水資源の変動に関する研究に取り組んできた。また、2014 年から 2016 年に発生したエルニーニョ現象に伴う熱帯氷河の融解特性を明らかにした。

過去数百年にわたる氷河の拡大・縮小によって下流に湿地や氷河湖が形成されている。熱帯氷河は年間の氷河質量収支において涵養(降雪)と消耗(融解)の大部分が雨季(夏季)に集中する。融解量の季節変化に対応して湿地水域や氷河湖の貯水量も変動すると考えられるが、このような季節変動さらには水循環に及ぼす影響は十分に解明されていない。流域の湿地・氷河湖の分布を把握する上で衛星画像による解析が効果的である。光学センサを用いた解析は複数の波長を組み合わせることにより湿地水域を抽出できるが、雨季においては雲の影響を受けるため季節変化の解析には不十分である。一方で、マイクロ波の合成開口レーダを用いた解析は大気中の水蒸気の影響を受けにくく、季節変化の解析に適している。したがって、光学センサとマイクロ波といった複数プラットフォームとセンサの衛星データ融合によって、湿地水域の季節変化の解析が可能になると考えられる。

熱帯氷河が分布するアンデス高地の山岳都市の多くは半乾燥地域に属し、氷河の融解水が主要な水資源である。氷河の後退は将来的な水資源の枯渇につながり、住民の生活や都市活動に対して脅威となりうる。氷河の後退、湿地や氷河湖による貯水量の季節変動を考慮した水循環の解明は氷河融解・流出モデルを用いた水資源予測の高度化に資すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究はトゥニ貯水地(ボリビア多民族国)の集水域を対象として人工衛星の光学センサから得られる複数のデータとマイクロ波合成開口レーダから得られる後方散乱強度のデータを組み合わせ、湿地水域を抽出する手法を構築するとともに季節変動を明らかにする。同様に氷河湖の分布を明らかにする。また、対象地域の水文・気象モニタリングデータを用いて氷河融解に対する湿地水域の応答を解析する。

3. 研究の方法

(1) 対象地域

対象地域(図 1)は、ボリビア多民族国の首都ラパスから約 30km 北に位置するトゥニ貯水地(16°14'59.9"S, 68°14'30.9"W, 標高 4437m)の集水域(集水面積 90km²)である。上流域に複数の氷河(コンドリリ氷河、トゥニ氷河、ワイナポトシ氷河)が分布する。トゥニ貯水地にはトゥニ川が自然流入する他、雨季にはコンドリリ川とワイナポトシ川から人工水路を介してトゥニ貯水地に導水している。集水域に気象観測 5 地点、水位観測 5 地点が稼働している。

(2) 研究体制

ボリビア多民族国のサンアンドレス大学水理・水文研究所と連携して対象地域の水文・気象モニタリングデータを蓄積した。当初、現地調査と機材設置を実施するため相手国への渡航を計画していたが、新型コロナウイルス感染拡大に伴い研究期間に渡航できなかった。そのため、これまでのモニタリングデータと人工衛星データを代替的に用いて対応した。また、ビデオ会議を定期的を実施して、水文・気象モニタリング網の稼働状況とデータ回収、研究進捗について情報共有した。

(3) 衛星データ

衛星データは Landsat-8/OLI(光学センサ)、GeoEye(光学センサ)、WorldView(光学センサ)

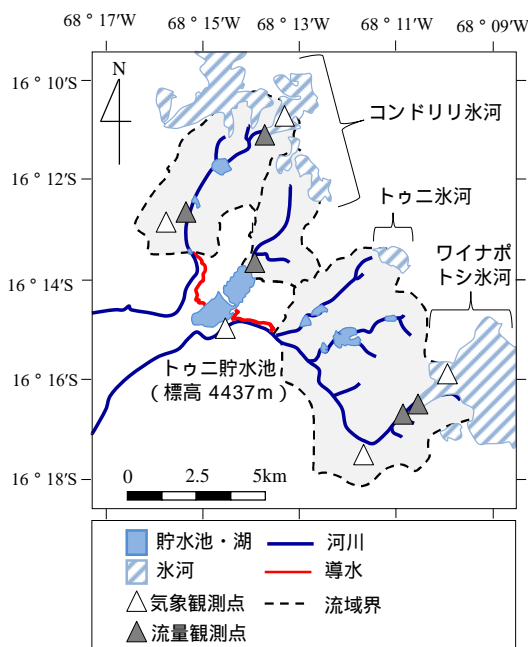


図 1 対象地域の概要と氷河分布

Sentinel-1 の C バンド波合成開口レーダを用いた。氷河域の抽出には Landsat-8/OLI のデータを用いた。また Landsat8 よりも高解像度の衛星画像 (GeoEye、WorldView) を用いて氷河域抽出の精度を検証した。湿地水域の抽出には Sentinel-1 と WorldView のデータ、氷河湖の抽出は WorldView のデータを用いた。Landsat の空間分解能は約 30m、GeoEye と WorldView は空間分解能 2m にリサンプリングしたものをを用いた。Sentinel-1 の画像は空間分解能 10m、5×5 画素のメディアンフィルタを適用してノイズ処理した。

(4) 氷河域・氷河湖の抽出

氷河域は Landsat-8/OLI のデータから正規化積指数を算出し、閾値を設けて抽出した。正規化雪指数の閾値は高解像度衛星画像 (GeoEye、WorldView) の True Color 画像でマニュアル抽出した氷河先端部を参照して設定した。氷河湖は後方散乱係数の画像に Otsu 法 (二値化手法) を適用して、氷河湖とそれ以外に判別する閾値を算出した。

(5) 湿地水域の抽出

天候 (特に雲) の影響を受けにくい Sentinel-1 合成開口レーダのデータを用いて月単位の湿地を抽出した。この際、合成開口レーダのデータから算出した後方散乱係数 (図 2) に閾値を設けた。後方散乱係数の閾値を設定するために WorldView3 (2015 年 7 月 11 日) と WorldView2 (2016 年 5 月 12 日) の画像を用いて土地分類図を作成した。この土地被覆分類図は対象流域の中で勾配の緩やかなエリアに限定した。この際、勾配は SRTM -1 (空間解像度 1") の地形データから算出した。正規化植生指数 (NDVI) と正規化水指数 (NDWI) のヒストグラム (図 3) に Otsu 法を適用して水域、土壌、土壌と植生の混合、植生域の 4 種類からなる土地被覆図を作成した。2015 年 7 月 13 日の後方散乱係数の画像と土地被覆分類図を比較して後方散乱係数から湿地を抽出するための閾値を設定した。得られた閾値を対象地域全体、他時期に適用して、トゥニ貯水地集水域の湿地水域を抽出した。

4. 研究成果

(1) 氷河域の変動

先行研究で Funaki and Asaoka (2016) は Landsat-5/TM および Landsat-8/OLI の画像データに基づいて 1984 年から 2016 年までの氷河域データベースを整備した。本研究ではデータベースの期間を 2022 年まで更新した。2019 年の時点で 3 つの氷河のうちワイナポトシ氷河の面積が最大、トゥニ氷河の面積が最小であったが、2022 年にワイナポトシ氷河とコンドリリ氷河の面積が同程度になった。2022 年の 3 氷河の合計面積は 1984 年の面積に対して 33% まで縮小した。流域ごとでは 1984 年の氷河面積に対してワイナポトシ氷河が 43% に縮小、コンドリリ氷河が 30% に縮小、トゥニ氷河が 20% に縮小した。長期的な傾向としては減少傾向であるが、解析期間では数年間で氷河面積が増加することもあり、2019 年から 2022 年にかけてもコンドリリ氷河とワイナポトシ氷河は氷河先端部の面積増加に伴い氷河面積も増加した。

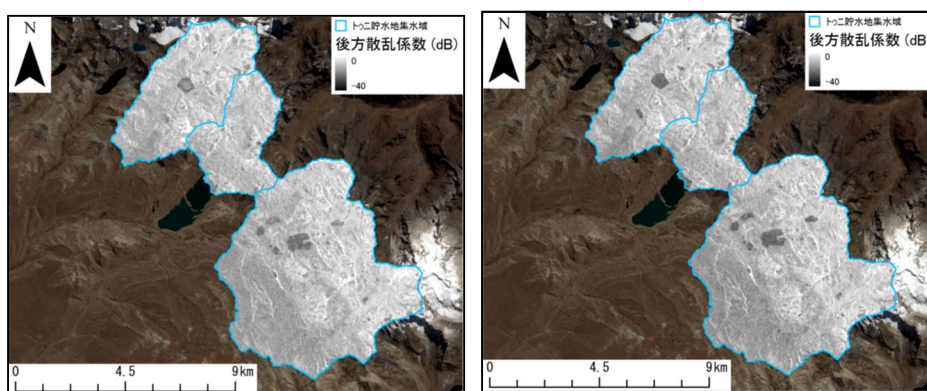


図 2 Sentinel-1 C バンド合成開口レーダから算出した後方散乱係数

左: 2015 年 7 月 13 日、右: 2016 年 5 月 20 日

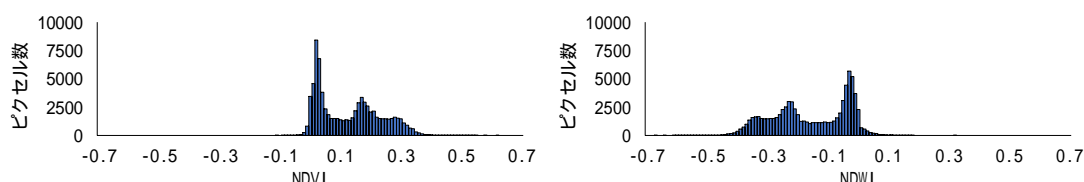


図 3 WorldView3 (2015 年 7 月 11 日) のヒストグラム

左: 正規化植生指数、右: 正規化水指数

(2) 湿地水域の抽出

WorldView3、WorldView2 の画像から作成した土地被覆分類を図 4 に示す。水域のうち湿地水域の後方散乱係数が高く、氷河湖や貯水地の後方散乱係数は低い。湿地水域ではマイクロ波の誘電率増加に伴う表面散乱の増加が要因と考えられる。後方散乱係数と土地被覆分類の占有率の関係を図 5 に示す。氷河湖に関しては氷河湖マスクデータを用いてテストエリアから除いた。湿地水域の占有率が 50%を上回る後方散乱係数を湿地水域抽出のための閾値と設定した。本手法を 2 時期に適用したところ同程度の閾値が得られたことから、本手法は妥当と判断した。この手法を対象地域全域に拡大して湿地水域を月単位で推定した。

(3) 湿地水域の季節変化

月単位で推定した湿地水域の変動を図 6 に示す。湿地水域は対象地域に対して 9.7%から 22.3%を占めると推定され、雨季（9月から4月）に占有率が高く、乾季（5月から8月）に占有率が低くなる傾向がある。また、2016 年は 2015 年と比較して湿地水域の面積が小さい状態が 9 月ま

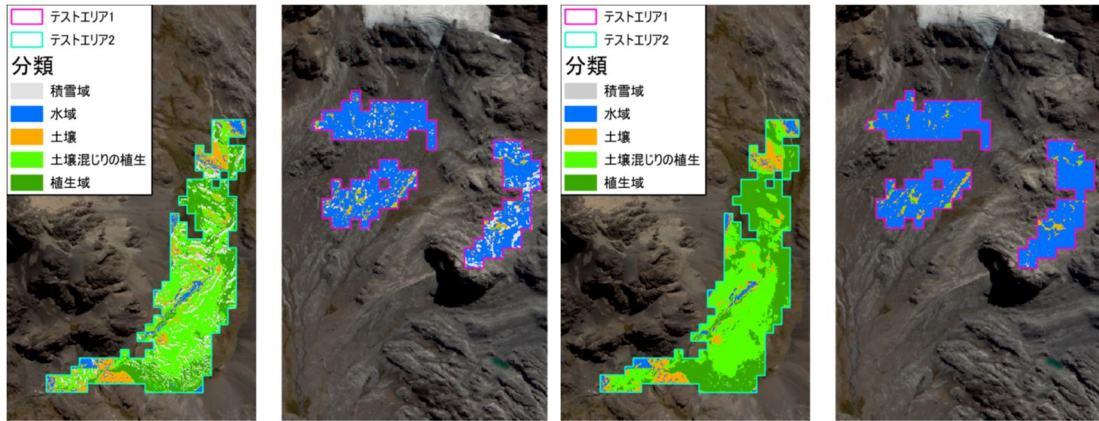


図 4 WorldView3、WorldView2 のデータを用いた土地被覆分類

左：2015 年 7 月 11 日、右：2016 年 5 月 12 日

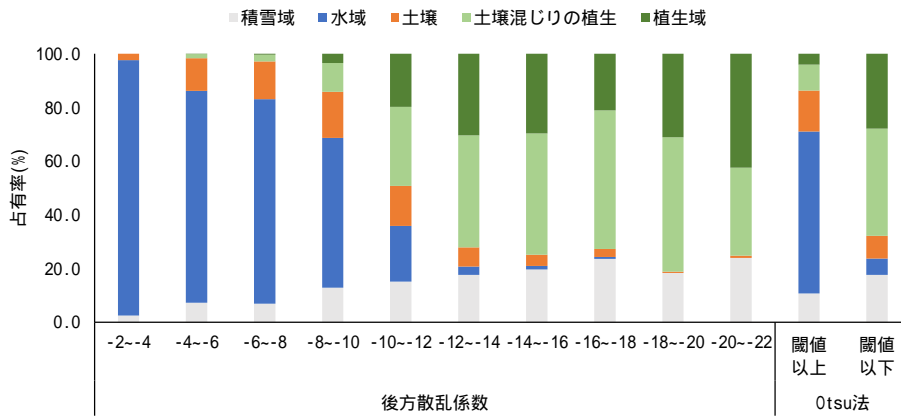


図 5 テストエリアの後方散乱係数と土地被覆の占有率（2015 年 7 月）

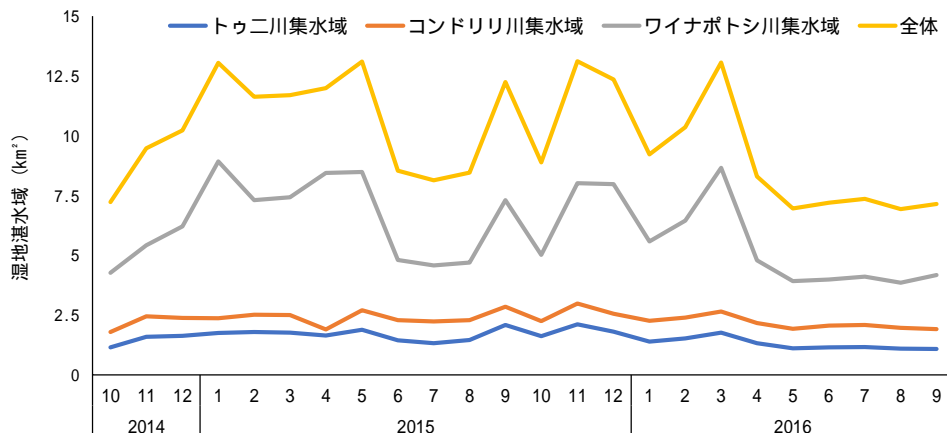


図 6 湿地水域の季節変化

で続くが、この年は雨季の始まりが例年よりも遅く、総合的な結果といえる。雨季の湿地水域の面積が2月、3月に低下する点に関しては解析期間を拡大して結果の妥当性を検証する必要がある。各集水域の湿地面積はワイナポトシ川集水域、コンドリリ川集水域、トゥニ集水域の順となり、2016年時点で集水域に分布する氷河面積の順と対応していることから、氷河面積が湿地水域の面積に影響すると考えられる。

(4) 今後の展望

本研究は複数の衛星画像を組み合わせることで氷河下流における湿地の抽出手法を開発した。熱帯氷河下流における湿地水域の季節変動の実態に関する研究報告は少ない。本手法は天候の影響を受けにくいマイクロ波のデータを用いることから、月単位の湿地抽出、湿地水域の季節変化を把握することが可能である。また、対象とした3集水域では氷河面積と湿地の水域面積が関係することも示唆された。これらの結果は早急に論文として取りまとめる予定である。一方で湿地水域の拡大・縮小が流域水循環や水資源に及ぼす影響を解明するには至らなかった。今後の課題として湿地水域とその下流の流出量にどのような関係性があるか明らかにする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 神戸智志, 朝岡良浩	4. 巻 36
2. 論文標題 衛星画像 MODIS を用いた積雪・融雪モデルのパラメータ算定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 東北の雪と生活	6. 最初と最後の頁 45-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 神戸智志, 朝岡良浩	4. 巻 57
2. 論文標題 阿賀野川上流域の融雪出水に対する積雪・融雪の寄与	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 東北地域災害科学研究	6. 最初と最後の頁 11-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Abdul Haseeb Azizi , Yoshihiro Asaoka	4. 巻 7
2. 論文標題 Assessment of the Impact of Climate Change on Snow Distribution and River Flows in a Snow-Dominated Mountainous Watershed in the Western Hindukush-Himalaya, Afghanistan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrology	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/hydrology7040074	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 神戸智志, Abdul Haseeb Azizi , 朝岡良浩	4. 巻 35
2. 論文標題 気候変化に伴うHindukush山脈Panjshir川上流域の流況変化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東北の雪と生活	6. 最初と最後の頁 3-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 門間洋仁, 朝岡良浩, Javier Mendoza
2. 発表標題 複数の衛星画像を用いた湿地湛水域抽出手法の検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 富金原史暁, 朝岡良浩
2. 発表標題 衛星画像を用いたアンデス高地における熱帯氷河の後退状況
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第73回（令和4年度秋季）学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 門間洋仁, 朝岡良浩
2. 発表標題 Worldview-3画像を用いたアンデス高地における湿地湛水域の抽出
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第73回（令和4年度秋季）学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 SSPシナリオを用いた豪雪地帯のダム流入量の推定と利水運用に及ぼす影響
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会 第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀江祐希, 朝岡良浩, 古川仁志
2. 発表標題 温暖積雪域における積雪・融雪の効果を考慮した土砂生産量推定の検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会 第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 SSP シナリオを用いた豪雪地帯のダム流入量と水運用の評価
3. 学会等名 2022年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富金原史堯, 朝岡良浩, Pablo Fuchs
2. 発表標題 人工衛星マイクロ波データの後方散乱特性を用いた熱帯氷河先端部の抽出
3. 学会等名 2022年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村海世, 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 伊南川流域における積雪・融雪量の解析
3. 学会等名 2022年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石本晃輝, 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 過去30年間における阿賀野川上流域の大川ダム流入量に対する積雪の寄与
3. 学会等名 令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀江祐希, 朝岡良浩, 古川仁志
2. 発表標題 温暖積雪地域の山地流域における土砂生産量推定手法の検討
3. 学会等名 令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 門間洋仁, 朝岡良浩, Javier Mendoza
2. 発表標題 高解像度衛星画像を用いた熱帯水河下流における湿地湛水域の抽出
3. 学会等名 令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富金原史堯, 朝岡良浩, Pablo Fuchs
2. 発表標題 人工衛星マイクロ波データの後方散乱特性を用いた熱帯水河先端部の抽出
3. 学会等名 令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 SSPシナリオに基づく気候変動が豪雪地帯のダム流入量と利水運用に及ぼす影響
3. 学会等名 令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石本晃輝, 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 阿賀野川上流域における多雪年・小雪年の融雪出水解析
3. 学会等名 令和3年度東北地域災害科学研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀江祐希, 朝岡良浩, 古川仁志
2. 発表標題 豪雪地帯の河川流域における土砂生産量推定手法の検討
3. 学会等名 令和3年度東北地域災害科学研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 門間洋仁, 朝岡良浩
2. 発表標題 Sentinel-1衛星Cバンド合成開口レーダを用いた熱帯水河下流における湿地湛水域の抽出
3. 学会等名 (一社)日本リモートセンシング学会 第71回(令和3年度秋季)学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 阿賀野川上流域の積雪・融雪がハイドログラフに及ぼす影響
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会 第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 朝岡良浩
2. 発表標題 衛星データSPOT/VEGETATIONを用いた消雪日の統計値推定
3. 学会等名 2021年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 衛星画像MODISを用いた積雪・融雪モデルのパラメータ算定
3. 学会等名 2021年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀江祐希, 朝岡良浩, Pablo Fuchs
2. 発表標題 Sentinel-1衛星Cバンド合成開口レーダを用いた熱帯氷河先端の抽出
3. 学会等名 2021年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 門間洋仁, 朝岡良浩
2. 発表標題 Sentinel-1衛星Cバンド合成開口レーダを用いた熱帯水河下流における湿地水域の抽出
3. 学会等名 2021年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 阿賀野川上流域の河川流量に対する積雪・融雪の寄与
3. 学会等名 令和2年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 門間洋仁, 朝岡良浩
2. 発表標題 合成開口レーダを用いた熱帯水河下流域における湿地のモニタリング
3. 学会等名 令和2年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保田泰成, 朝岡良浩, Javier Mendoza
2. 発表標題 Tuni貯水地集水域における流出特性と気象条件の関係
3. 学会等名 令和2年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀江祐希, 朝岡良浩, Pablo Fuchs
2. 発表標題 人工衛星Sentinel-1のマイクロ波データを用いた熱帯氷河のモニタリング
3. 学会等名 令和2年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神戸智志, 朝岡良浩
2. 発表標題 阿賀野川上流域の融雪出水に対する積雪・融雪の寄与
3. 学会等名 令和2年度東北地域災害科学研究集会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ボリビア	Universidad Mayor de San Andres			
インドネシア	IPB University			