

6. 1-6 気温上昇や降水量の変化等による釧路湿原の水環境・生態系への影響に関する調査

6.1. 概要

釧路湿原は、北海道東部を流れる釧路川に沿って広がる、日本最大の湿原である。釧路湿原は、生物多様性の観点からだけでなく、Eco-DRR（生態系を活用した防災・減災）や地域産業（観光業）の観点からも重要であり、将来にわたり保全していくことが求められている。しかし、近年、大雨時の出水に伴い釧路湿原に多量の土砂・栄養塩が流入することで、湿原植生が急速に変化していることが保全上の課題となっている。また、将来の気候変動により、大雨の頻度・強度が増大すると、釧路湿原の水環境や生態系にもさらに大きな影響が及ぶと推測される。本調査では、釧路湿原における大雨の頻度・強度の増大及びそれに伴う影響（土砂・栄養塩負荷量の変化及び Eco-DRR 機能）を予測し、それらに対する適応策を検討した。

その結果、21 世紀末（RCP8.5 シナリオ）においては、釧路川やその支川の大雨時の流量が最大約 2 倍に増大することが予測された。また、それに伴い、土砂・栄養塩負荷量も大幅に増大すること、釧路湿原の保水機能の重要性がさらに増すことが予測された。こうした影響に対する適応策としては、河道の安定化や河川沿いの未利用農地の活用による土砂・栄養塩流入対策などが想定された。

6.1.1. 背景・目的

釧路湿原は、北海道東部を流れる釧路川に沿って広がる、日本最大（面積：約 258 平方キロメートル）の湿原である。その原生的な自然は、生物多様性の観点からだけでなく、Eco-DRR（生態系を活用した防災・減災）や地域産業（観光業）の観点からも重要であり、将来にわたり保全していくことが求められている。その一方で、北海道東部においても、将来、気温の上昇や降水量の増大といった気候変動が予想されている。これにより、釧路湿原の水環境や生態系にも様々な影響が及ぶと推測される。

本調査の目的は、こうした気候変動に伴う釧路湿原の水環境や生態系への影響を評価し、その結果に基づき釧路湿原の保全に資する適応策を検討することである。本調査では、特に、将来想定される大雨の頻度・強度の増大に伴う影響に着目した。その理由は、大雨時の出水が、①湿原への大量の土砂・栄養塩流入を引き起こし、釧路湿原の保全上既に大きな問題となっていること、また、②釧路川下流部に位置する釧路市や釧路町の防災上も重要であること、の 2 点である。大雨の頻度・強度の増大に伴う釧路湿原の水環境（湿原内を流れる河川の流量や土砂・栄養塩負荷量）の変化を、可能な限り定量的に評価した。また、その結果に基づき、釧路湿原の生物多様性や Eco-DRR 機能を維持・向上させるための適応策の検討を目的に調査・検討を行った。

6.1.2. 実施体制

本調査の実施者：北海道、日本エヌ・ユー・エス株式会社

アドバイザー：北海道大学 教授 中村 太士



図 6-1 体制図

6.1.3. 実施スケジュール（実績）

2ヶ年の実施スケジュールを図 6-2 に示す。本調査の内容は、次の 3 項目に大別される。第一に、釧路湿原に関する既存知見の収集・整理を行い、調査計画策定・影響評価・適応策検討の参考とした。第二に、大雨の頻度・強度の増大に伴う釧路湿原への影響評価を実施した。具体的には、まず、気候シナリオデータを用いて、将来の大雨の頻度・強度を評価した。次に、将来の大雨を想定した釧路湿原の水循環シミュレーションを実施し、釧路湿原の持つ Eco-DRR 機能を評価した。最後に、湿原内を流れる各河川の流量変化と、各河川の L-Q 式（河川のある地点における、流量 Q と流出負荷量 L との関係式）から、各河川の土砂・栄養塩流入量の変化を評価した。第三に、釧路湿原の生物多様性や Eco-DRR 機能を維持・向上させる適応策を、影響評価や現地調査の結果に基づき検討した。

平成 30 年度の調査では、①釧路湿原に関する既存知見の収集・整理、②気候シナリオデータを用いた将来の大雨の頻度・強度評価、③釧路湿原の Eco-DRR 機能評価に向けた水循環シミュレーション、④適応策検討に向けた現地調査の準備、の 4 点を実施した。

平成 31 年度の調査では、①大雨の頻度・強度評価手法の見直し、②将来の大雨の頻度・強度のより精緻な評価結果を用いた水循環シミュレーション、③L-Q 式を用いた土砂・栄養塩流入量の変化評価、④適応策検討に向けた現地調査、⑤適応策の検討、の 5 点を実施した。

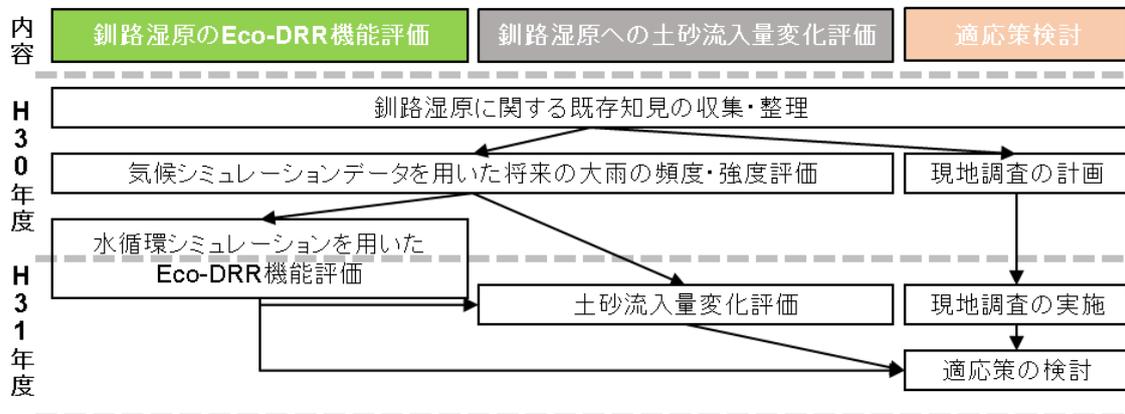


図 6-2 調査実施スケジュール

6.1.4. 気候シナリオ基本情報

本調査で使用した気候シナリオの基本情報は、表 6-1 のとおりである。

表 6-1 使用する気候パラメータに関する情報

項目	Eco-DRR 機能の評価、土砂・栄養塩流入量変化
気候シナリオ名	気象研究所 2km 力学的 DS データ by 創生プログラム
気候モデル	MRI-NHRCM02
気候パラメータ	降水量
排出シナリオ	RCP8.5
予測期間	21 世紀末
バイアス補正の有無	有り (全国)

6.1.5. 気候変動影響予測結果の概要

文献調査では、以下のことが分かった。

- ① 釧路湿原の保全上の課題として、現在特に注目されているのは、大雨時の出水に伴う多量の土砂・栄養塩流入である。これにより、ハンノキ林が増加するなど、湿原植生が急速に変化している（釧路湿原自然再生協議会, 2015）。
- ② 現在、釧路湿原への土砂流入対策として、河道の安定化などの発生源対策、河畔林などの緩衝帯整備、土砂調整地などによる出水時土砂捕捉、といった施策が実施されている（釧路湿原自然再生協議会, 2019）。

ヒアリングでは、以下のことが分かった。

- ① 釧路湿原が持つ多様な価値を示すことが、普及啓発、ひいては釧路湿原の保全に繋がることから、釧路湿原の保水機能を評価項目に加えるべきことが分かった。また、釧路湿原自然再生事業において構築された水循環モデルがあり、現況再現性も確認されていることから、本調査の影響予測において採用すべきことが分かった（北海道大学 中村教授）。
- ② 釧路湿原では、釧路湿原自然再生協議会による再生・保全事業が進められており、それらのうちのいくつかは、そのまま適応策としても有効であることが分かった（釧路自然環境事務所、釧路開発建設部）。

影響予測を行った結果、以下の 2 つの結果が得られた。

- ① 釧路湿原の保水機能により、釧路湿原で大規模な出水が発生した 2016 年 8 月の大雨時、釧路川下流部ではピーク流量が約 160 m³/s 低下し、ピークの到達が 2 日間遅延した、と評価された。また、21 世紀末 (RCP8.5 シナリオ) の大雨時の予測計算では、ピーク流量の低下は約 360 m³/s と評価され、釧路湿原の保水機能の重要性がさらに増すことが示唆された。
- ② 釧路湿原に流入する 3 河川 (久著呂川、雪裡川、幌呂川) における SS (浮遊土砂)・全窒素・全リン負荷量は、大雨時の流量の増大 (1.7~2.2 倍) に伴い、大幅に増大

(SS : 4.3~8.3 倍、全窒素 : 2.3~3.3 倍、全リン : 2.6~4.2 倍) することが示唆された。

6.1.5.1. Eco-DRR 機能の評価

釧路湿原の保水機能を評価するために、釧路湿原自然再生事業において構築された水循環モデルを用いて、現在及び 21 世紀末 (RCP8.5 シナリオ) の大雨時における釧路川下流部 (広里) でのピーク流量を、湿原がある場合とない場合とで比較した。現在の降水量としては、釧路湿原で大規模な出水が発生した 2016 年の観測日降水量を用いた。また、21 世紀末の降水量は、2016 年の観測日降水量に、現在から 21 世紀末への日降水量の変化率を乗じることで推計した。

その結果、2016 年 8 月の大雨時の再現計算では、釧路湿原の保水機能により、ピーク流量が約 160 m³/s 低下し、ピークの到達が 2 日間遅延した、と評価された (図 6-3)。また、21 世紀末 (RCP8.5 シナリオ) の大雨時の予測計算では、ピーク流量の低下は約 360 m³/s と評価され、現在よりもその重要性が増すことが示唆された (図 6-4)。

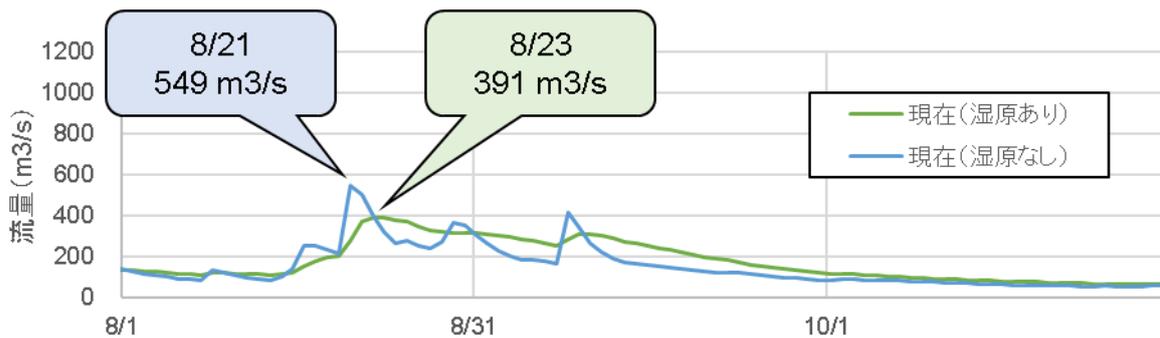


図 6-3 2016 年 8 月の大雨時の釧路湿原の保水機能 (再現計算結果) (データ提供 : 釧路湿原自然再生協議会)

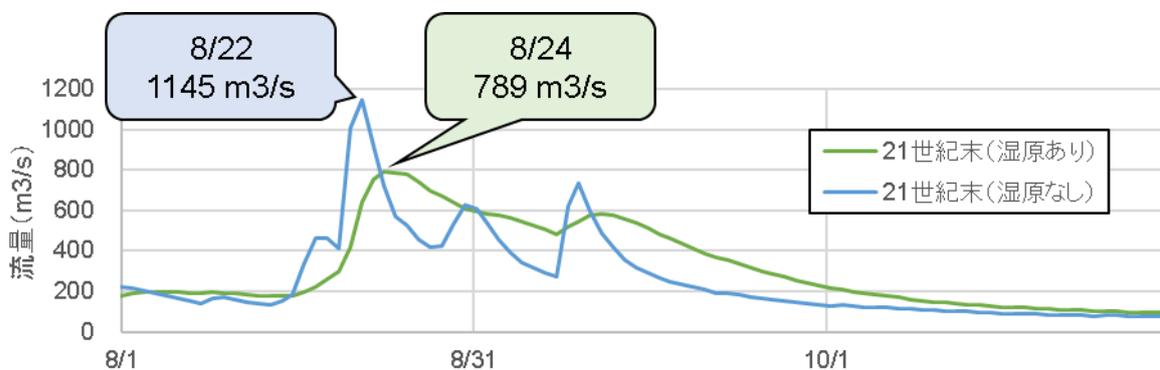


図 6-4 21 世紀末 (MRI-NHRCM02,RCP8.5) の大雨時の釧路湿原の保水機能計算結果

6.1.5.2. 土砂・栄養塩流入量変化

釧路湿原に流入する3河川（久著呂川、雪裡川、幌呂川）を対象として、現在及び21世紀末（RCP8.5シナリオ）における土砂・栄養塩負荷量を推計した。各河川の現在及び21世紀末の流量は、Eco-DRR機能評価と同様に、水循環シミュレーションにより求めた。さらに、釧路湿原自然再生事業で得られたL-Q式を用いて、浮遊土砂（SS）・全窒素・全リン負荷量の変化を評価した。

その結果、21世紀末（RCP8.5シナリオ）では各河川の大雨時のピーク流量は1.7～2.2倍に増大すると予測された。また、流量の増大に伴い、SS（浮遊土砂）・全窒素・全リン負荷量も大幅に増大することが示唆された（表6-2、表6-3、表6-4）。

表 6-2 久著呂川における土砂・栄養塩流入量変化（MRI-NHRCM02,RCP8.5）

久著呂川	SS (kt/年)	全窒素 (t/年)	全リン (t/年)
現在	62.4	368	45.3
21世紀末	266 (×4.3)	829 (×2.3)	120 (×2.6)

※()内は現在⇒21世紀末の倍率

表 6-3 雪裡川における土砂・栄養塩流入量変化（MRI-NHRCM02,RCP8.5）

雪裡川	SS (kt/年)	全窒素 (t/年)	全リン (t/年)
現在	34.1	378	39.8
21世紀末	282 (×8.3)	1260 (×3.3)	166 (×4.2)

※()内は現在⇒21世紀末の倍率

表 6-4 幌呂川における土砂・栄養塩流入量変化（MRI-NHRCM02,RCP8.5）

幌呂川	SS (kt/年)	全窒素 (t/年)	全リン (t/年)
現在	14.2	228	22.4
21世紀末	72.9 (×5.1)	576 (×2.5)	67.3 (×3.0)

※()内は現在⇒21世紀末の倍率

6.1.6. 活用上の留意点

6.1.6.1. 本調査の将来予測対象とした事項

下記の 3 点を前提とした予測結果であるため、ピーク流量や土砂・栄養塩負荷量を過大に評価した可能性があることに留意が必要である。

- ・ 21 世紀末の仮想的な 1 年間の日降水量を推定する際に、現在における平均的な年ではなく、特異的な大雨のあった 2016 年をベースとしている。
- ・ 現在と 21 世紀末とで、同じ流量における L-Q 式が不変であることを仮定している。
- ・ 現在観測される流量の範囲で成立している L-Q 式が、21 世紀末に想定される流量の範囲まで外挿できることを仮定している。

6.1.6.2. 本調査の将来予測の対象外とした事項

釧路湿原の水循環には、下記の要素も影響すると考えられるが、調査期間の制約及び既存知見の不足により、本調査では考慮していないことに留意が必要である。

- ・ 気温の変化に伴う蒸発散量への影響
- ・ 積雪及び融雪状況の変化に伴う河川流量への影響

6.1.6.3. その他、成果を活用する上での制限事項

本調査では、釧路湿原自然再生事業において構築された水循環モデル及び L-Q 式を利用している。他の湿原において同様の検討を行う場合は、こうしたモデルが必要となる。

6.1.7. 適応オプション

釧路湿原では、釧路湿原自然再生協議会による再生・保全事業が進められており、それらのうちのいくつかは、そのまま適応策としても有効であることが分かった。土砂・栄養塩流入の抑制策として、河道の安定化、未利用農地の再湿地化、土砂調整地の整備、などが想定される。また、保水機能の向上策として、未利用農地の再湿地化による湿地面積の回復などが想定される。

表 6-5 適応オプション

適応 オプション	想定される 実施主体			評価結果							
	行政	事業者	個人	現状		実現可能性				効果	
				普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コスト 面	情報 面	効果 発現 までの 時間	期待 される 効果の 程度
河道の安定化	●	●		一※	計画、実施、評価に 要するコストが大	△	○	△	◎	短期	高
未利用農地の 再湿地化	●	●		一※	<ul style="list-style-type: none"> 地権者の協力 が必要 土砂・栄養塩 の捕捉効果も 期待される が、その効果 の定量的な把 握が必要 	△	○	△	△	短期	中
土砂調整地の 整備	●	●		一※	<ul style="list-style-type: none"> 計画、実施、評 価に要するコ ストが大 	△	○	△	◎	短期	高
モニタリング	●	●		一※	<ul style="list-style-type: none"> 土砂・栄養塩 流入及びその 湿原への影響 に関する知見 がまだ不十分 	△	◎	◎	◎	長期	低
普及啓発	●	●		一※	<ul style="list-style-type: none"> 参加者が特定 化、高齢化 Eco-DRR 機 能等の生態系 サービスの観 点を含めて、 釧路湿原の重 要性を平易に 発信する工夫 が必要 	△	◎	◎	◎	長期	低

※ 釧路湿原自然再生事業において事例あり

表 6-6 適応オプションの考え方

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
河道の安定化 【発生源対策】	釧路湿原自然再生事業において、久著呂川を対象として、本対策の実施と効果検証が行われている。久著呂川を通じて湿原へ流入する土砂を約 5%低減する効果があったと見積もられている（出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料）。
未利用農地の再湿地化 【緩衝帯整備】	釧路湿原自然再生事業において、広里地区及び幌呂地区を対象として、本対策が実施されている。湿地面積の回復効果は認められている一方、土砂・栄養塩の捕捉効果は定量的には分かっておらず、効果は中とした（出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料）。
土砂調整地の整備 【出水時土砂捕捉】	釧路湿原自然再生事業において、久著呂川を対象として、本対策の実施と効果検証が行われている。久著呂川を通じて湿原へ流入する土砂を約 30%低減する効果があったと見積もられている（出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料）。
モニタリング	釧路湿原自然再生事業において、各河川における水質調査、各施策の効果検証などが行われている。直接的な施策ではないことから、効果は低とした（出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料）。
普及啓発	釧路湿原自然再生事業において、現地ツアー、講演会などが開催されている。釧路湿原の保全には地域住民の理解と協力が不可欠である一方、直接的な施策ではないことから、効果は低とした（出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料）。

6.2. 気候シナリオに関する情報

6.2.1. 気候シナリオ基本情報

本調査で使用した気候シナリオの基本情報は、表 6-7 のとおりである。

表 6-7 使用する気候パラメータに関する情報

項目	Eco-DRR 機能の評価、土砂栄養塩流入量変化
気候シナリオ名	気象研究所 2km 力学的 DS データ by 創生プログラム
気候モデル	MRI-NHRCM02
気候パラメータ	降水量
排出シナリオ	RCP8.5
予測期間	21 世紀末
バイアス補正の有無	有り (全国)

6.2.2. 使用した気候パラメータに関する情報

釧路湿原周辺のアメダス観測所 4 地点（標茶、鶴居、塘路、釧路）における、現在及び 21 世紀末（RCP8.5 シナリオ）の日降水量の予測値を、図 6-5 に示す。また、代表的な頻度毎の現在及び 21 世紀末の日降水量の比較結果を、表 6-8 に示す。

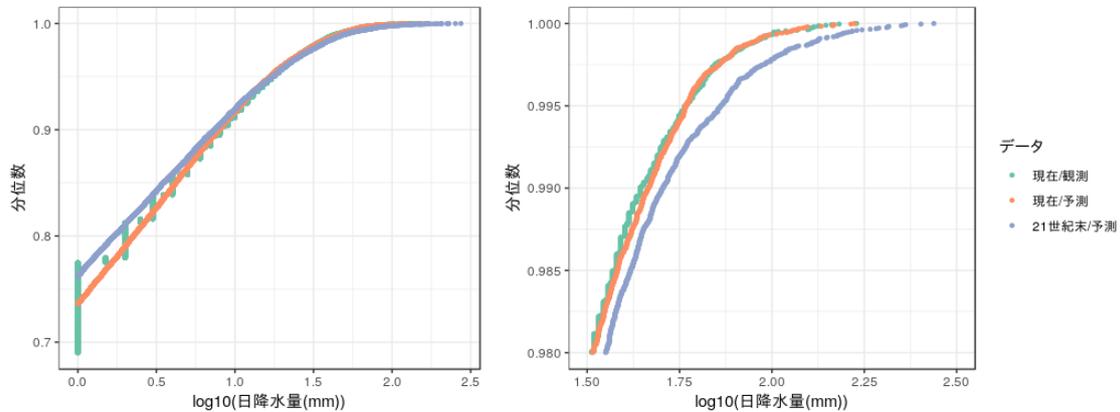


図 6-5 釧路湿原周辺（標茶、鶴居、塘路、釧路）における現在及び 21 世紀末（RCP8.5 シナリオ）の日降水量（左：1 mm 以上の日降水量、右：30 mm 以上の日降水量）

表 6-8 釧路湿原周辺（標茶、鶴居、塘路、釧路）における現在及び 21 世紀末（RCP8.5 シナリオ）の日降水量の比較結果

日降水量（アメダス観測所：標茶、鶴居、塘路、釧路）			
頻度	現在	21 世紀末	倍率
上位 0.3% (1 年に 1 回程度)	66.7 mm	87.8 mm	1.32
上位 0.1% (3 年に 1 回程度)	91.6 mm	133 mm	1.46
上位 0.01% (30 年に 1 回程度)	147 mm	227 mm	1.55

6.2.3. 気候シナリオに関する留意事項

釧路湿原周辺における現在の日降水量の観測値と予測値とを比較した結果、両者は概ね整合的であった（図 6-5）。

6.2.4. バイアス補正に関する情報

全国一律のバイアス補正済みデータを使用したため、それ以上のバイアス補正は実施していない。

6.2.5. 気候シナリオ選択の理由

本調査では大雨という極端現象を対象としていることから、力学的 DS データを用いた。

6.3. 気候変動影響に関する調査手法

6.3.1. 手順

本調査の作業フローを、図 6-6 に示す。

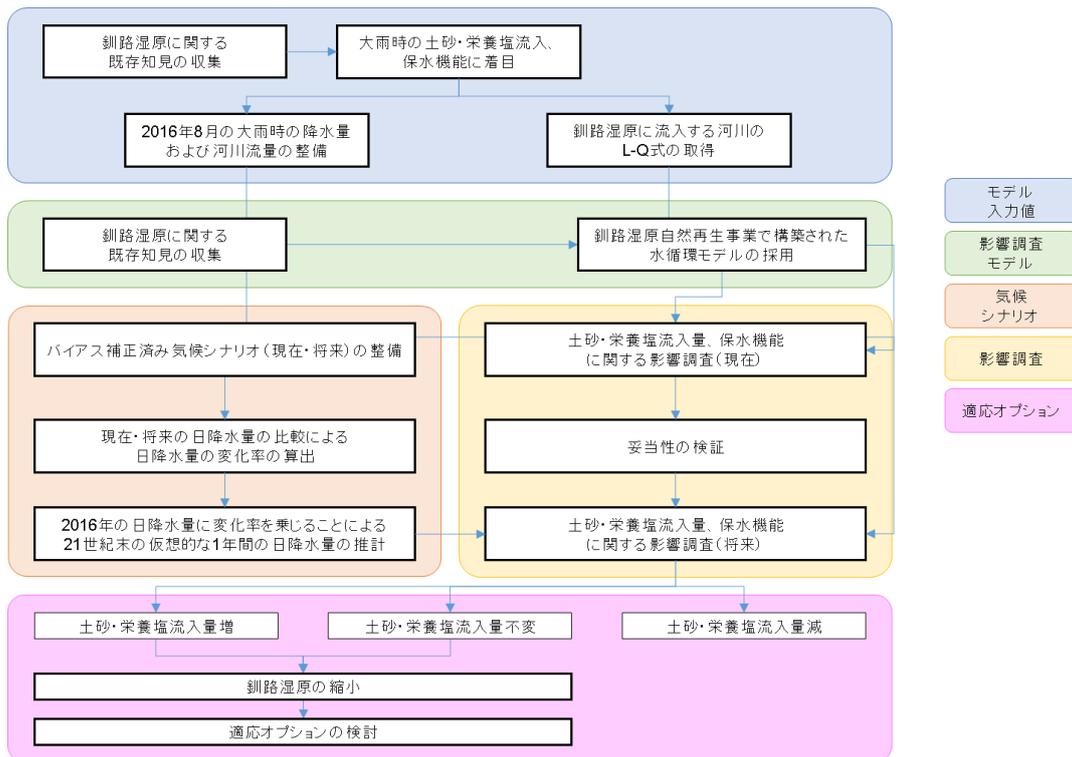


図 6-6 調査の作業フロー

6.3.2. 使用したデータ・文献

使用したデータと文献について、表 6-9、表 6-10 に記載する。その他、収集したデータや文献については、収集データリスト及び、参考文献リストを参照。

表 6-9 収集したデータ

No.	データ名
1	降水量観測データ（釧路湿原周辺のアメダス観測所 4 地点（標茶、鶴居、塘路、釧路）における日降水量の観測データ、気象庁）
2	河川流量観測データ（釧路川及びその支川（久著呂川、雪裡川、幌呂川）における日流量の観測データ、国土交通省）

表 6-10 収集した文献

No.	文献名	概要
1	気象庁(2013)「地球温暖化予測情報第8巻」	地域気候モデルを用いて 21 世紀末の気候を予測した計算結果。将来予測には温室効果ガスの排出想定が必要であるが、ここでは SRES A1B シナリオに基づく温室効果ガス濃度を外部強制力として予測している。20 世紀末 (1980 年～1999 年) と 21 世紀末 (2076 年～2095 年) との比較を行っている。
2	気象庁「異常気象リスクマップ」	日本各地における現在の確率降水量マップ、及び、その計算方法などが記載されている。
3	釧路開発建設部(2012)「釧路湿原自然再生事業 水循環に関わる技術資料」	釧路湿原自然再生協議会水循環小委員会において構築された、釧路湿原に関する水循環モデルの詳細が記載されている。
4	釧路開発建設部(2016)「平成 28 年 8 月の大雨による出水状況について」, 第 2 回釧路川減災対策部会	平成 28 年 8 月の大雨時の釧路川流域における出水状況のまとめが記載されている。
5	釧路湿原自然再生協議会(2015)「釧路湿原自然再生全体構想～未来の子どもたちのために～2015 年改訂版」	釧路湿原自然再生事業の全体構想及び各種事業の紹介されている。
6	釧路湿原自然再生協議会(2019)「第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料」	釧路湿原自然再生協議会における最新の検討資料である。
7	国土交通省「釧路川水系河川整備基本方針」	釧路川水系の河川整備基本方針が記載されている。
8	国土交通省「水文水質データベース」	釧路川本川及び支川の各地点における流量観測データを取得した。
9	札幌管区气象台(2017)「北海道の気候変化【第 2 版】これまでの 120 年とこれからの予測」	気象庁(2013)に基づき、北海道における気候変動の見通しをまとめられている。

6.3.3. 有識者ヒアリング

有識者ヒアリングの概要を、表 6-11 に示す。

表 6-11 ヒアリング結果

NO.	1
ヒアリング対象者	北海道大学 教授 中村太士氏
日付	2018年4月6日 14:00~15:30
場所	北海道大学 農学部
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査実施者より、調査の概要について説明した。 ・ 中村氏より、影響評価に Eco-DRR の観点を加えること、釧路湿原自然再生協議会において構築された水循環モデルが本調査に適していること、をご助言頂いた。
NO.	2
ヒアリング対象者	北海道大学 教授 中村太士氏
日付	2019年1月17日 15:00~16:30
場所	北海道大学 農学部
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査実施者より、水循環シミュレーションの実施計画について説明した。 ・ 中村氏より、実施計画の妥当性をご確認頂いた。
NO.	3
ヒアリング対象者	北海道大学 教授 中村太士氏
日付	2019年5月29日 14:00~15:30
場所	北海道大学 農学部
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査実施者より、将来の降水量をより精緻に評価した水循環シミュレーションの実施計画について説明した。 ・ 中村氏より、実施計画の妥当性をご確認頂いた。
NO.	4
ヒアリング対象者	釧路自然環境事務所 自然再生企画官 中西誠氏
日付	2019年7月3日 11:00~12:00
場所	釧路自然環境事務所
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査実施者より、影響評価及び適応策の検討状況について説明した。 ・ 中西氏より、釧路湿原自然再生協議会による再生・保全事業の内容及び課題についてご教示頂いた。

NO.	5
ヒアリング対象者	北海道大学 教授 中村太士氏
日付	2019年11月18日 10:30~12:00
場所	北海道大学 農学部
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査実施者より、影響予測結果及び適応策について説明した。 ・ 中村氏より、適応策の優先順位が、①発生源対策、②緩衝帯整備、③出水時土砂捕捉、であることをご教示頂いた。
NO.	6
ヒアリング対象者	気象研究所 応用気象研究部第一研究室 室長 村田昭彦氏
日付	2019年12月5日 12:30~13:00
場所	第2回防災分野作業部会
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査実施者より、21世紀末の仮想的な1年間の日降水量の推計方法について説明した。 ・ 村田氏より、推計方法の妥当性をご確認頂いた。

6.3.4. 観測及び実証実験

釧路湿原中心部への土砂・栄養塩流入量の増加に対する適応策の 1 つとして、河川沿いの未利用農地の再湿地化による緩衝帯整備が想定される。未利用農地による土砂捕捉効果を定量的に把握することを目的に、鶴居村の未利用農地における現地調査を北海道立総合研究機構に依頼し実施した。具体的には、大雨に伴う出水時における、①皿形採泥器による土砂堆積厚の観測、②ライジングステージサンプラによる増水時の水サンプリング、の 2 点を実施した。

実証実験については行っていない。

6.3.5. 気候変動影響予測手法の検討

影響予測対象としては、当初、釧路湿原の水質や水量、植生などの湿原地域一帯に係る項目を想定していた。その後、有識者へのヒアリングにおいて、自然環境分野における適応策の検討が難しいことや調査期間が 2 年間であることなどを踏まえ、湿原が有する保水機能に着目し、「生態系を活用した防災・減災 (Eco-DRR)」の観点による調査も実施すべきとの提案があった。このため、湿原への土砂流入量や保水機能に関する影響調査を実施することとした。

影響予測モデルとしては、釧路湿原自然再生事業において構築された水循環モデルを採用した。これは、同事業において、同モデルの現況再現性が確認されており、本調査に適していると判断されたためである。

影響予測モデルの入力データとしては、現在及び 21 世紀末の 1 年間の日降水量が必要となる。現在の降水量としては、釧路湿原で大規模な出水が発生した 2016 年の観測日降水量を用いた。また、21 世紀末の降水量は、2016 年の観測日降水量に、現在から 21 世紀末への日降水量の変化率を乗じることで推計した。2016 年の日降水量をベースとした理由は、同年 8/17～8/23 の 1 週間に 3 つの台風が連続して北海道に上陸し、北海道東部を中心に各地で河川の氾濫や土砂災害が発生しており、その際に行われた調査結果などを活用できるためである。

6.3.6. 影響予測モデルに関する情報

6.3.6.1. 水循環モデル

水循環モデルとしては、釧路湿原自然再生協議会水循環小委員会で構築されたものを用いた。同モデルの概要を表 6-12 に示す。より詳細な仕様については、釧路開発建設部(2012)に記載されている。

また、釧路湿原の保水機能を評価する際には、仮想的に湿原が失われた場合の湿原域の粗度を決定する必要がある。現況再現解析の結果、現状のハンノキ・ヤナギ分布域は粗度 0.5、ヨシ・スゲ分布域では 0.05 程度と評価された。湿原域内にはヨシ・スゲ、ハンノキが概ね 40%程度分布することから、現状の湿原域の平均的な粗度係数は 0.27 となる。一方、湿原内が農地開発された場合はハンノキ・ヤナギ分布域やヨシ・スゲ分布域が農地(粗度 0.3) や市街地(粗度 0.05) などのより小さい粗度に変化することが予想される。また、湿地帯であることを考慮すると、排水路の整備や河川改修による積極的な排水性の向上が図られることも予想される。しかし、将来の具体的な土地利用状況を予測することや排水路の整備や河川改修の状況を予測することは困難である。そこで、一般的な土地利用区分と粗度係数の関係から、現状(粗度 0.27) は階段状田畑主体流域に相当しており、これが将来的には階段状に宅地造成を行った丘陵地帯(粗度 0.05) に変化するものとして予測解析を実施した。

表 6-12 使用した水循環モデルの概要

項目	内容
解析領域	釧路湿原を包括する、東西方向約 20 km、南北方向約 30 km の矩形領域
計算格子	解析領域を、東西方向 200 分割、南北方向 300 分割、深度方向 9 分割。
境界条件	釧路川流域全体を解析領域としたモデルから、地下水位及び河川流量を算出。
水理地質区分	既往文献資料やボーリング調査結果から 3 次元地質モデルを作成。
地面粗度	2000 年時点の衛星写真画像解析から得られた土地利用区分を基本とし、解析モデル上で再現。各土地利用区分に対応する粗度は、既往文献データから設定。

6.3.6.2. L-Q 式

L-Q 式(河川のある地点における、流量 Q と流出負荷量 L との関係式)としては、釧路湿原自然再生協議会水循環小委員会で構築された代表 L-Q 式を採用したのものを用いた。同式に、水循環シミュレーションで得られた久著呂川、雪裡川、幌呂川における現在及び 21 世紀末(RCP8.5 シナリオ)の日毎の日流量を投入することで、日毎の負荷量が得られる。これを、河川・物質毎に合計することで、各河川・物質に関する年間負荷量を推計した。

2-1. (1) 釧路湿原流入支川を代表するL-Q式の算出

湿原流入河川の代表L-Q式

L - Q 式
 負荷量と河川流量の
 関係式

L(負荷量)とQ(流量)の関係は、ほぼ一本の式で近似できる。
 高流量の範囲では相関性にバラつきがある。
 流量に関わらず全データを用いて近似したほうが相関性が高い。

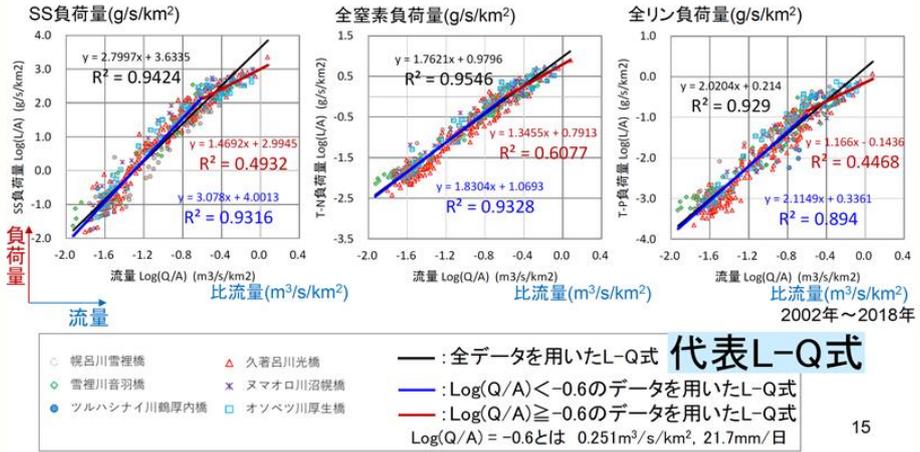


図 6-7 代表 L-Q 式 (出典 : 第 17 回水循環小委員会)

6.3.7. 影響予測に必要な入力パラメータ

水循環モデルに必要な入力パラメータは、現在及び 21 世紀末 (RCP8.5 シナリオ) における 1 年間の日降水量である。本調査では、現在の降水量として、釧路湿原で大規模な出水が発生した 2016 年の観測日降水量を用いた。また、21 世紀末の降水量は、2016 年の観測日降水量に、現在から 21 世紀末への日降水量の変化率を乗じることで推計した (図 6-8)。

気候モデル MRI-NHRCM02
凡例
■ 現在
■ 21世紀末 (RCP8.5)

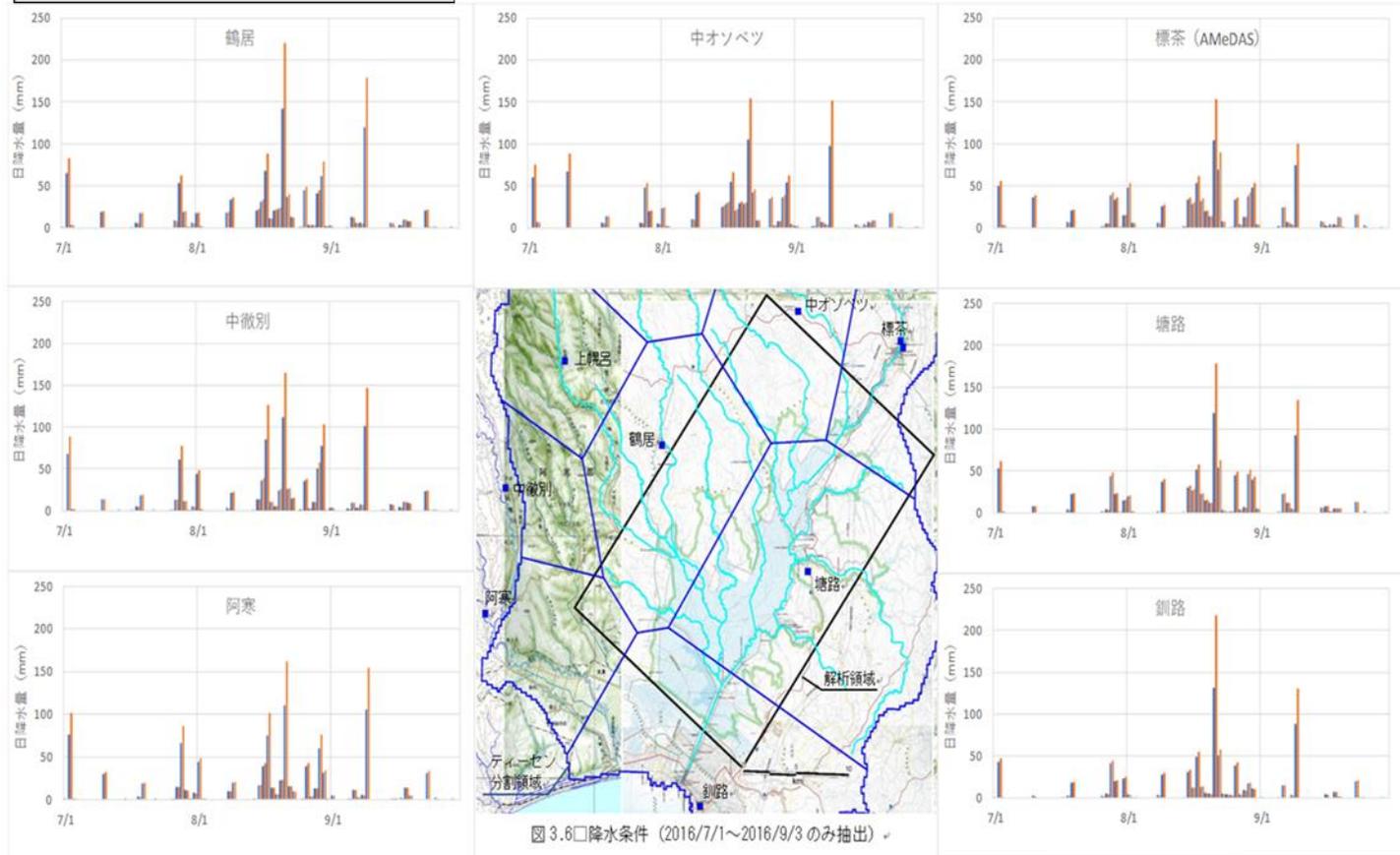


図 6-8 水循環モデルへの入力として用いた日降水量データ (MRI-NHRCM02)

6.3.8. 影響予測における留意事項（制限事項）

下記の 3 点を前提とした予測結果であるため、ピーク流量や土砂・栄養塩負荷量を過大に評価した可能性があることに留意が必要である。

- ・ 21 世紀末の仮想的な 1 年間の日降水量を推定する際に、現在における平均的な年ではなく、特異的な大雨のあった 2016 年をベースとしている。
- ・ 現在と 21 世紀末とで、同じ流量における L-Q 式が不変であることを仮定している。
- ・ 現在観測される流量の範囲で成立している L-Q 式が、21 世紀末に想定される流量の範囲まで外挿できることを仮定している。

6.4. 調査結果

6.4.1. 文献調査結果

6.4.1.1. 釧路湿原の特徴及び重要性

釧路湿原は、北海道釧路地方を流れる釧路川に沿って広がる、日本最大（面積：約 258 平方キロメートル）の湿原である。ハンノキの散在するヨシを主とした湿原（低層湿原）、ミズゴケ類を主とした湿原（高層湿原）、その中を蛇行する河川といった、低地湿原の原生的な自然が残されている。また、タンチョウ、オジロワシといった鳥類、キタサンショウウオ、エゾカオジロトンボなど、貴重な野生動物の生息地にもなっている。こうしたことから、釧路湿原は生物多様性の観点から極めて重要であり、ラムサール条約登録湿地や国立公園にも指定されている。

このような原生的な自然が人間の生活と隣接していることも、釧路湿原の特徴である。釧路川流域には、釧路市、釧路町、標茶町、弟子屈町、鶴居村の 5 市町村が含まれ、その総人口は約 21.8 万人である。近年、人間が自然から受ける恩恵を「生態系サービス」と呼び、自然環境の多様な価値の評価が試みられているが、こうした観点からも釧路湿原は重要である。例えば、大雨時に釧路湿原が遊水地として働くことで、釧路川下流部に位置する釧路市や釧路町を洪水から守る効果があると考えられる。また、観光資源としても重要であり、釧路市の観光消費額の 211 億円（2009 年）に大きく貢献していると考えられる。

6.4.1.2. 釧路湿原の保全上の課題

現在、釧路湿原の保全上の課題として特に注目されているのが、湿原への土砂流入である。近年、釧路湿原に土砂が堆積し、ハンノキ林が増加するなどの質的な変化が進行している。その背景には、上流の河川や丘陵地の変化がある。流域の急速な農地化とともに、林地でも人工林に転換される場所が増え、自然林が著しく減少した。また、森林伐採や裸地の出現、管理されていない作業道などにより、土砂の流出が激しくなった。さらに、上流での河川の直線化なども手伝って、湿原内には大量の土砂が流入するようになった。これにより、ヨシやスゲ類の湿原内で点在していたハンノキの面積が拡大したり、湖沼で急速に土砂が堆積し水生植物や淡水魚類も減少したりなど、湿原の生態系に大きな影響を

与えている。

湿原への土砂流入は、大雨時の出水によって特に顕著となる。平成 28 年 8 月、8/17～8/23 の 1 週間に 3 つの台風が連続して北海道に上陸し、北海道東部を中心に各地で河川の氾濫や土砂災害が発生した。釧路川では、釧路湿原が遊水機能を発揮し、その下流部において水位が低減されたと推計されている（釧路開発建設部, 2016）。その一方で、釧路湿原には例年をはるかに上回る量の土砂が流れ込んだと推計されている。釧路川本川（茅沼地区）及び釧路川の支流の 1 つである久著呂川における、平成 25 年～平成 29 年までの湿原への年間土砂流入量の推計値を表 6-13 に示す。

表 6-13 釧路湿原への年間土砂流入量の推計値
(データ出典：釧路湿原自然再生協議会「第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料」)

年	湿原中心部への土砂流入量(m ³ /年)	
	釧路川本川（茅沼地区）	久著呂川
平成 25 年	42,000	1,900
平成 26 年	24,000	900
平成 27 年	26,000	2,100
平成 28 年	175,000	21,700
平成 29 年	15,000	800

6.4.1.3. 土砂流入対策事例

釧路湿原への土砂流入を抑制するために、釧路湿原自然再生事業において、これまでに次のような対策が実施されている。

茅沼地区は、釧路川本川の釧路湿原への流入部に位置する。ここでは、過去に直線化された釧路川本川を、再度蛇行化させた。これにより、茅沼地区において洪水が発生しやすくなり、土砂がより堆積するようになった。その結果、さらに下流の湿原中心部への土砂流入を抑制する効果が期待される。シミュレーションによる推計では、湿原中心部への土砂流入量を、平成 23 年から平成 29 年までの平均で約 3 割減少させる効果があった（釧路湿原自然再生協議会, 2019）。

久著呂川では、湿原流入部の左右両岸に土砂調整地を設置した。出水時、意図的に川の水を土砂調整地に溢れさせることで、土砂を捕捉することを目的としている。シミュレーションによる推計では、湿原中心部への土砂流入量を、平成 25 年～平成 29 年の平均で約 3 割減少させる効果があった（釧路湿原自然再生協議会, 2019）。

6.4.2. 有識者ヒアリングの結果

ヒアリングでは、下記のことになった。

釧路湿原が持つ多様な価値を示すことが、普及啓発、ひいては釧路湿原の保全に繋がるとのことであったので、釧路湿原の保水機能を評価項目に加えることとなった。また、釧路湿原自然再生事業において構築された水循環モデルがあり、現況再現性も確認されて

いるとのことであったため、本調査の影響予測において採用した。

気候シナリオデータの現在及び 21 世紀末（RCP8.5 シナリオ）降水量の季節等を限定せず通年のデータでマッチングする手法が適当であることが分かった。また、大雨の頻度・強度が増大する一方、弱い雨の強度が減少するという結果は既存知見と一致することが分かった。

釧路湿原自然再生協議会により現在実施されている再生・保全事業のうち、河道の安定化、未利用農地の再湿地化、土砂調整地の整備がそのまま適応策にもなることが分かった。

6.4.3. 観測や実証実験の結果

釧路川流域の未利用農地の土砂捕捉効果を定量的に把握することを目的として現地調査を行ったが、今回の観測された規模の出水では、土砂捕捉量の定量的把握が不可能であった。今後はより大規模な出水にターゲットを絞った観測を実施していく必要があることが分かった。

6.4.4. 気候変動影響予測結果

6.4.4.1. Eco-DRR 機能の評価

釧路湿原の保水機能を評価するために、釧路湿原自然再生事業において構築された水循環モデルを用いて、現在及び 21 世紀末（RCP8.5 シナリオ）の大雨時における釧路川下流部（広里）でのピーク流量を、湿原がある場合とない場合とで比較した。現在の降水量としては、釧路湿原で大規模な出水が発生した 2016 年の観測日降水量を用いた。また、21 世紀末の降水量は、2016 年の観測日降水量に、現在から 21 世紀末への日降水量の変化率を乗じることで推計した。

その結果、2016 年 8 月の大雨時の再現計算では、釧路湿原の保水機能により、ピーク流量が約 160 m³/s 低下し、ピークの到達が 2 日間遅延した、と評価された（図 6-3）。また、21 世紀末（RCP8.5 シナリオ）の大雨時の予測計算では、ピーク流量の低下は約 360 m³/s と評価され、現在よりもその重要性が増すことが示唆された（図 6-4）。

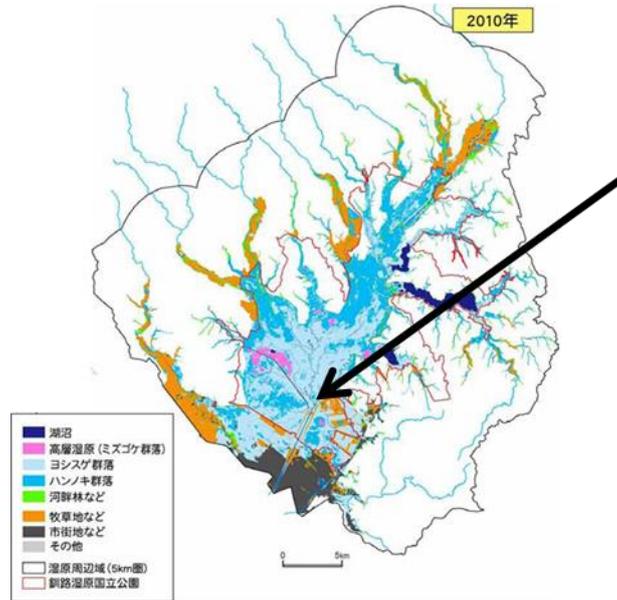


図 6-9 解析地点 釧路川下流部（広里）（Eco-DRR 機能評価）

出典：環境省ウェブサイトの図

(http://kushiro.env.gr.jp/images/vision_fig5-2.jpg) を加工して作成

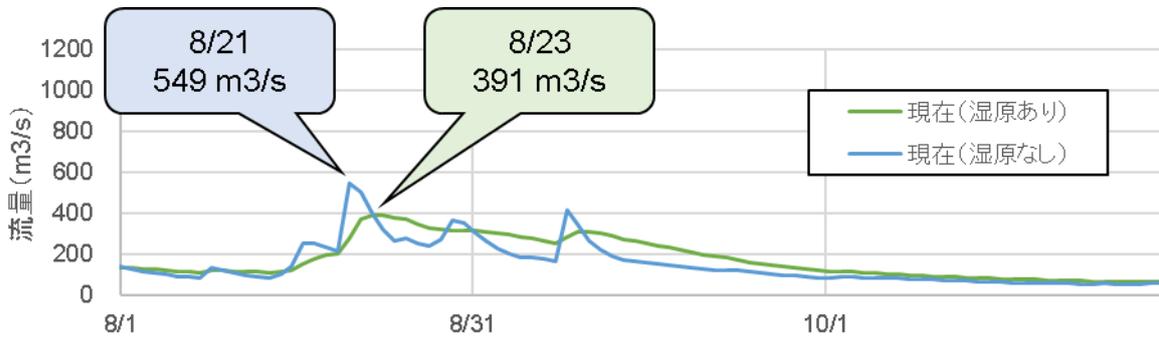


図 6-10 2016年8月の大雨時の釧路湿原の保水機能（再現計算結果）（データ提供：釧路湿原自然再生協議会）

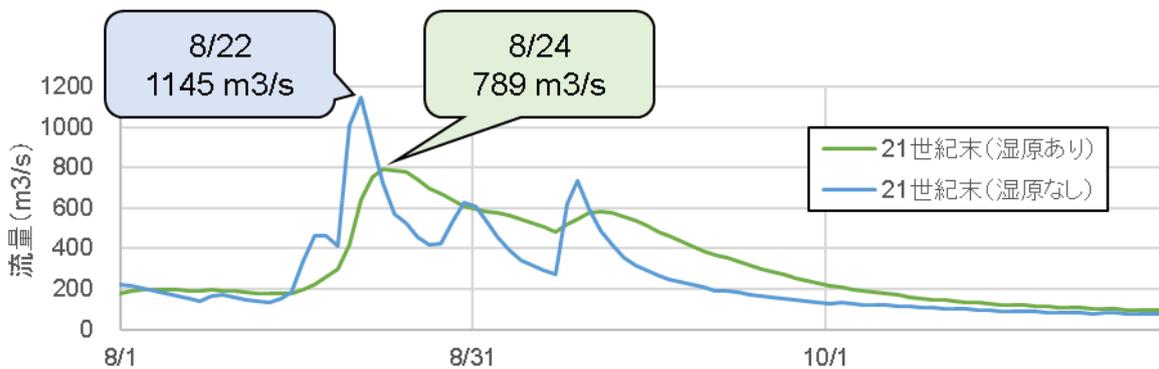


図 6-11 21世紀末（MRI-NHRCM02 RCP8.5）の大雨時の釧路湿原の保水機能計算結果

6.4.4.2. 土砂・栄養塩流入量変化

釧路湿原に流入する3河川（久著呂川、雪裡川、幌呂川）を対象として、現在及び21世紀末（RCP8.5シナリオ）における土砂・栄養塩負荷量を推計した。各河川の現在及び21世紀末の流量は、Eco-DRR機能評価と同様に、水循環シミュレーションにより求めた。さらに、釧路湿原自然再生事業で得られたL-Q式を用いて、浮遊土砂（SS）・全窒素・全リン負荷量の変化を評価した。

その結果、各河川の大雨時のピーク流量は1.7～2.2倍に増大すると予測された。また、流量の増大に伴い、SS（浮遊土砂）・全窒素・全リン負荷量も大幅に増大することが示唆された（表6-2、表6-3、表6-4）。

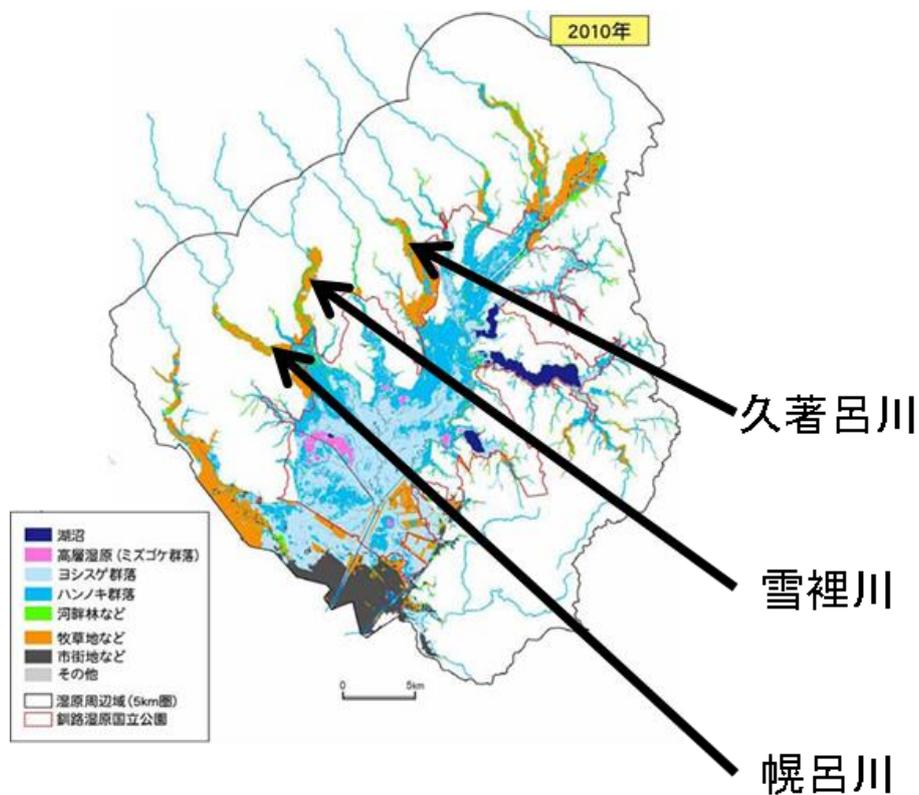


図 6-12 解析地点（土砂・栄養塩流入量変化）

久著呂川(MRI-NHRCM02, RCP8.5)

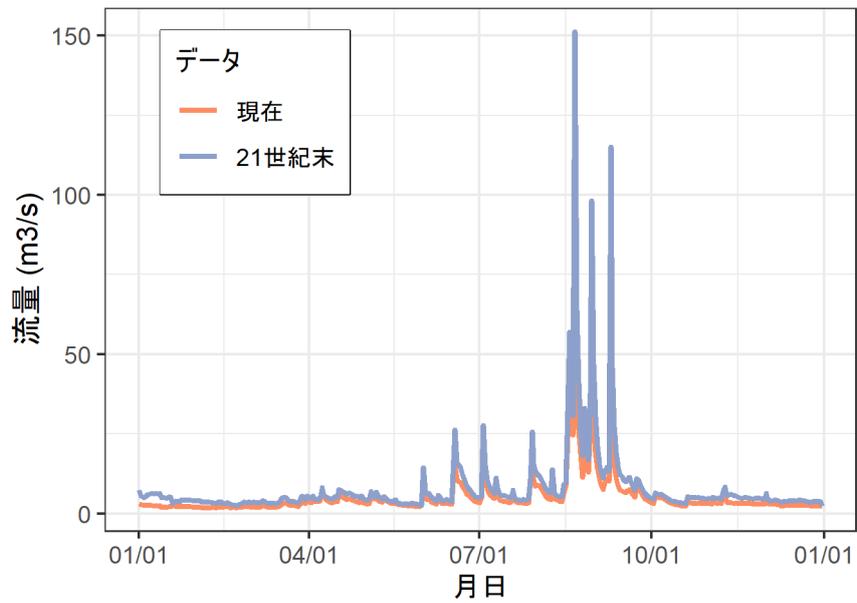


図 6-13 久著呂川（下久著呂地点）における日流量

雪裡川(MRI-NHRCM02, RCP8.5)

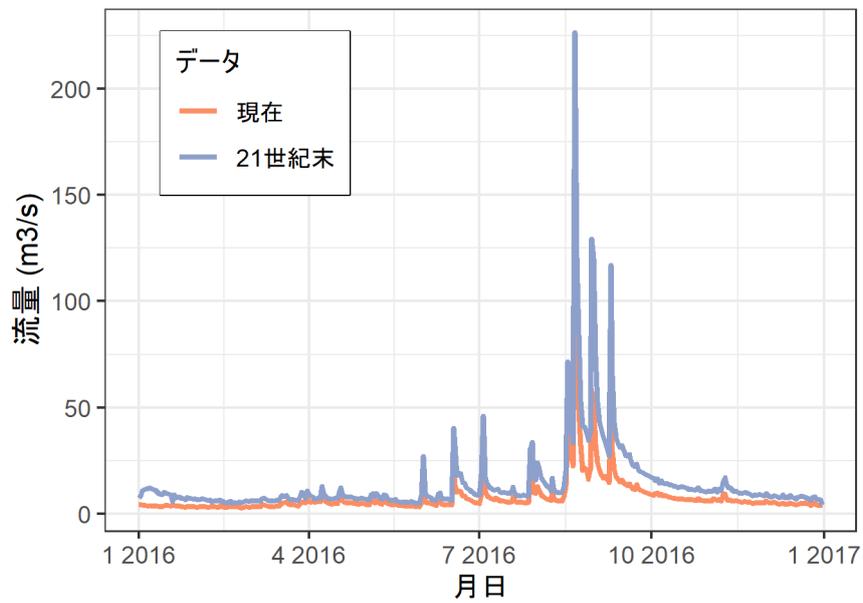


図 6-14 雪裡川（雪裡地点）における日流量

幌呂川(MRI-NHRCM02, RCP8.5)

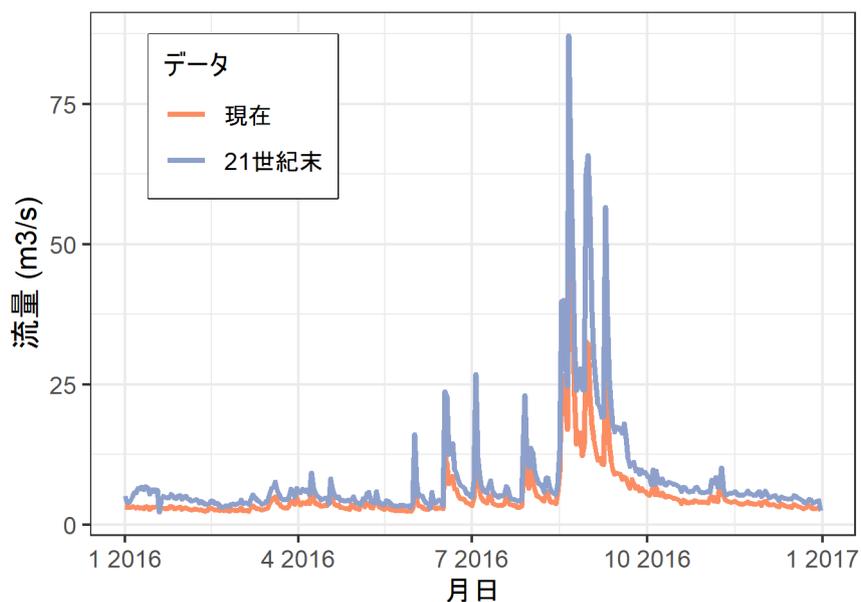


図 6-15 幌呂川（幌呂地点）における日流量

表 6-14 久著呂川における土砂・栄養塩流入量変化 (MRI-NHRCM02,RCP8.5)

久著呂川	SS (kt/年)	全窒素 (t/年)	全リン (t/年)
現在	62.4	368	45.3
21 世紀末	266 (×4.3)	829 (×2.3)	120 (×2.6)

※()内は現在⇒21 世紀末の倍率

表 6-15 雪裡川における土砂・栄養塩流入量変化 (MRI-NHRCM02,RCP8.5)

雪裡川	SS (kt/年)	全窒素 (t/年)	全リン (t/年)
現在	34.1	378	39.8
21 世紀末	282 (×8.3)	1260 (×3.3)	166 (×4.2)

※()内は現在⇒21 世紀末の倍率

表 6-16 幌呂川における土砂・栄養塩流入量変化 (MRI-NHRCM02,RCP8.5)

幌呂川	SS (kt/年)	全窒素 (t/年)	全リン (t/年)
現在	14.2	228	22.4
21 世紀末	72.9 (×5.1)	576 (×2.5)	67.3 (×3.0)

※()内は現在⇒21 世紀末の倍率

6.4.5. 結果を活用する上での留意点・制限事項

下記の 3 点を前提とした予測結果であるため、ピーク流量や土砂・栄養塩負荷量を過大に評価した可能性があることに留意が必要である。

- ・ 21 世紀末の仮想的な 1 年間の日降水量を推定する際に、現在における平均的な年ではなく、特異的な大雨のあった 2016 年をベースとしている。
- ・ 現在と 21 世紀末とで、同じ流量における L-Q 式が不変であることを仮定している。
- ・ 現在観測される流量の範囲で成立している L-Q 式が、21 世紀末に想定される流量の範囲まで外挿できることを仮定している。

6.5. 適応オプション

6.5.1. 手順

本調査における適応オプションの検討フローを図 6-16 に示す。

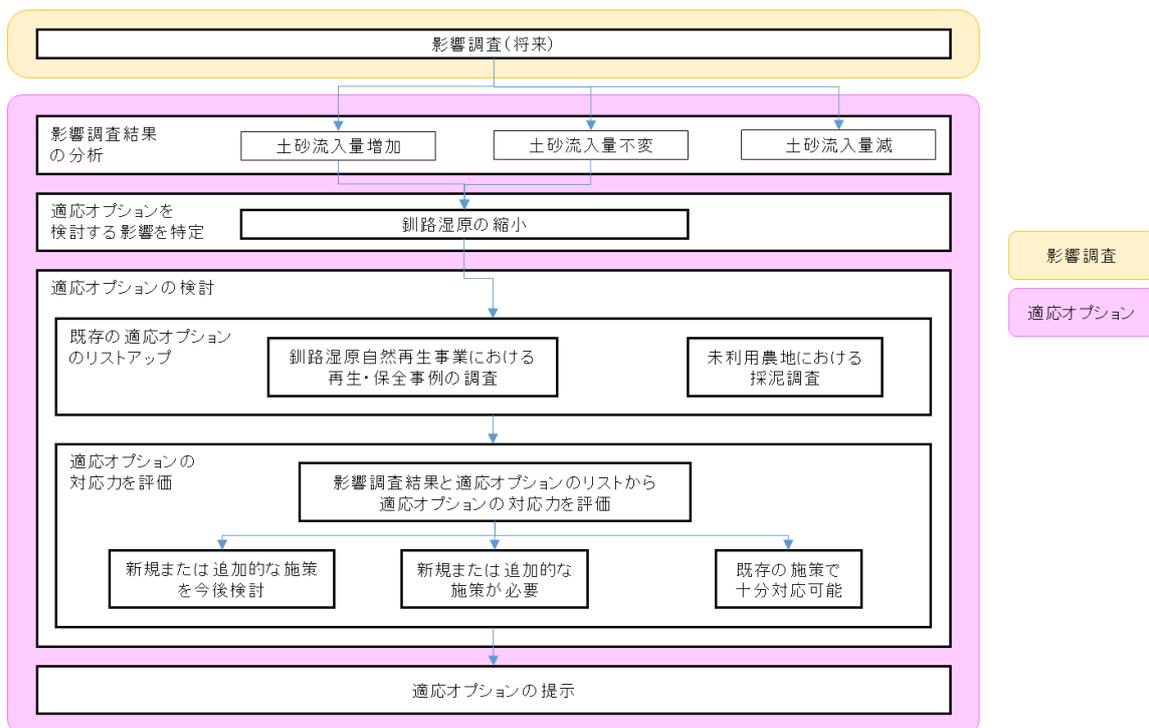


図 6-16 適応オプションの検討フロー図

6.5.2. 概要

本調査において検討した適応オプション及びその考え方を表 6-17～表 6-18 に示す。

釧路湿原では、釧路湿原自然再生協議会による再生・保全事業が進められており、それらのうちのいくつかは、そのまま適応策としても有効であることが分かった。土砂・栄養塩流入の抑制策として、河道の安定化、未利用農地の再湿地化、土砂調整地の整備、などが想定される。また、保水機能の向上策として、未利用農地の再湿地化による湿地面積の回復などが想定される。

表 6-17 適応オプション

適応 オプション	想定される 実施主体			評価結果							
	行政	事業者	個人	現状		実現可能性				効果	
				普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コスト 面	情報 面	効果 発現 までの 時間	期待 される 効果の 程度
河道の安定化	●	●		一※	計画、実施、評価に 要するコストが大	△	○	△	◎	短期	高
未利用農地の 再湿地化	●	●		一※	<ul style="list-style-type: none"> 地権者の協力が 必要 土砂・栄養塩 の捕捉効果も 期待される が、その効果 の定量的な把 握が必要 	△	○	△	△	短期	中
土砂調整地の 整備	●	●		一※	<ul style="list-style-type: none"> 計画、実施、評 価に要するコ ストが大 	△	○	△	◎	短期	高
モニタリング	●	●		一※	<ul style="list-style-type: none"> 土砂・栄養塩 流入及びその 湿原への影響 に関する知見 がまだ不十分 	△	◎	◎	◎	長期	低
普及啓発	●	●		一※	<ul style="list-style-type: none"> 参加者が特定 化、高齢化 Eco-DRR 機 能等の生態系 サービスの観 点を含めて、 釧路湿原の重 要性を平易に 発信する工夫 が必要 	△	◎	◎	◎	長期	低

※ 釧路湿原自然再生事業において事例あり※ 釧路湿原自然再生事業において事例あり

表 6-18 適応オプションの考え方

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
河道の安定化 【発生源対策】	釧路湿原自然再生事業において、久著呂川を対象として、本対策の実施と効果検証が行われている。久著呂川を通じて湿原へ流入する土砂を約 5%低減する効果があったと見積もられている。(出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料)
未利用農地の再湿地化 【緩衝帯整備】	釧路湿原自然再生事業において、広里地区及び幌呂地区を対象として、本対策が実施されている。湿地面積の回復効果は認められている一方、土砂・栄養塩の捕捉効果は定量的には分かっておらず、効果は中とした。(出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料)
土砂調整地の整備 【出水時土砂捕捉】	釧路湿原自然再生事業において、久著呂川を対象として、本対策の実施と効果検証が行われている。久著呂川を通じて湿原へ流入する土砂を約 30%低減する効果があったと見積もられている。(出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料)
モニタリング	釧路湿原自然再生事業において、各河川における水質調査、各施策の効果検証などが行われている。直接的な施策ではないことから、効果は低とした。(出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料)
普及啓発	釧路湿原自然再生事業において、現地ツアー、講演会などが開催されている。釧路湿原の保全には地域住民の理解と協力が不可欠である一方、直接的な施策ではないことから、効果は低とした。(出典：第 25 回釧路湿原自然再生協議会資料)

6.5.3. 個々の適応オプションに関する説明

■ 河道の安定化

大雨頻度・強度の増大に伴う湿原中心部への土砂流入量の増加に対して、釧路湿原に流入する河川を対象とした適応策である。釧路湿原に流入する河川において、床止工、河道拡幅などにより河道を安定化させ、土砂生産を抑制する。これにより、湿原中心部への土砂流入量が減少することが期待される。留意事項としては、計画、実施、評価に要するコストが大きい点が挙げられる。

■ 未利用農地の再湿地化

大雨頻度・強度の増大に伴う湿原中心部への土砂流入量の増加に対して、釧路湿原に流入する河川を対象とした適応策である。釧路湿原に流入する河川沿いに存在する未利用農地において、未利用排水路の埋め戻し及び地盤の切り下げを行い、再湿地化する。これにより、湿原面積が回復する他、緩衝帯として土砂・栄養塩を捕捉し、湿原中心部への土砂・栄養塩流入量が減少することが期待される。留意事項としては、地権者の協力が必要な点と、土砂・栄養塩捕捉効果の定量的な把握が必要であることが挙げられる。

■ 土砂調整地の整備

大雨頻度・強度の増大に伴う湿原中心部への土砂流入量の増加に対して、釧路湿原に流入する河川を対象とした適応策である。釧路湿原に流入する河川沿いに土砂調整地を設け、大雨時に河川水を意図的に越流させる。これにより、大雨時に湿原流入部において氾濫が発生しやすくなり、湿原中心部への土砂流入量が減少すると期待される。留意事項としては、計画、実施、評価に要するコストが大きい点が挙げられる。

■ モニタリング

土砂・栄養塩流入の実態把握や、それを低減する施策の効果検証のために、釧路湿原及びその周辺におけるモニタリングを強化する。また、土砂・栄養塩流入に伴う湿原植生の変化のモニタリングも行う。但し、直接的な施策ではないことから、効果は低とした。

■ 普及啓発

釧路湿原の保全には地域住民の理解と協力が不可欠であることから、普及啓発も適応策として加えた。但し、直接的な施策ではないことから、効果は低とした。釧路湿原自然再生事業における普及啓発として、現地ツアー、講演会などが開催されているが、参加者の特定化・高齢化が課題となっている。留意事項としては、Eco-DRR 機能等の生態系サービスの観点を含めて、釧路湿原の重要性を平易に発信する工夫が必要である点が挙げられる。

引用文献一覧

- ・ 気象庁(2013)「地球温暖化予測情報第8巻」
- ・ 気象庁「異常気象リスクマップ」
- ・ 釧路開発建設部(2012)「釧路湿原自然再生事業 水循環に関わる技術資料」
- ・ 釧路開発建設部(2016)「平成28年8月の大雨による出水状況について」, 第2回 釧路川減災対策部会
- ・ 釧路湿原自然再生協議会(2015)「釧路湿原自然再生全体構想～未来の子どもたちの

ために～2015年改訂版」

- 釧路湿原自然再生協議会(2019)「第25回釧路湿原自然再生協議会資料」
- 国土交通省「釧路川水系河川整備基本方針」
- 国土交通省「水文水質データベース」
- 札幌管区気象台(2017)「北海道の気候変化【第2版】これまでの120年とこれからの予測」