

## 4 3-2 降雪量と融雪時期の変化が水資源管理及び地下水資源の利用に与える影響調査

### 4.1 概要

#### 4.1.1 背景・目的

近年、気候変動に伴い年平均気温が上昇し、降雪量や降雨量などに大きな影響を与えている。水資源を取り巻く環境の変化は、農林水産業、工業や観光業などの経済活動だけでなく、国民の生活にも大きな影響を及ぼす。特に中部地域では、豊富な水資源を前提とした経済活動基盤が形成されているため、気候変動が同資源に与える影響評価は重要であり、地域レベルでの気候変動による水資源への影響評価は、今後の取組みが必要な課題の一つである。そこで、本調査では、中部地域における降雪量及び融雪時期の変化が水資源に与える影響の評価とその適応策の検討を目的に調査・検討を行った。なお、本調査では水資源として、特に降雪・積雪等の地表面における水収支への影響及び地下水への影響の各過程について、気候変動影響の調査解析を実施した。

#### 4.1.2 実施体制

本調査の実施者：一般財団法人日本気象協会

アドバイザー：富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科 准教授 手計 太一

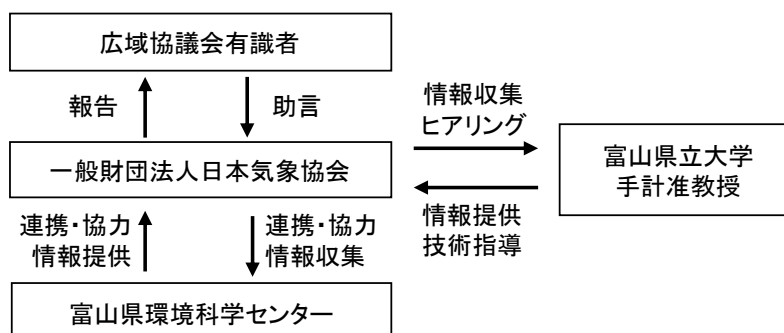


図 4-1 実施体制図(調査項目 3-2)

#### 4.1.3 実施スケジュール(実績)

本調査では、平成 29 年度から平成 31 年度の 3 年間で、対象地域における気温・降水量の変動が地域内の水資源(降雪・積雪、地下水)に与える影響を調査し、将来の影響評価及び適応策の検討を行った(図 4-2)。

各年の実施項目として、平成 29 年度は関連データ、関連研究等の知見を整理したほか、調査で使用する水収支モデルの検討を行った。平成 30 年度は前年度の検討を踏まえて、積雪・融雪量等の水収支における気候変動影響を行った他、黒部川流域を対象とした地下水流動モデルを構築した。平成 31 年度はモデルの妥当性検証を進め、調査対象地域における複数の河川水系について影響評価を実施した他、適応策に関する検討を行った。

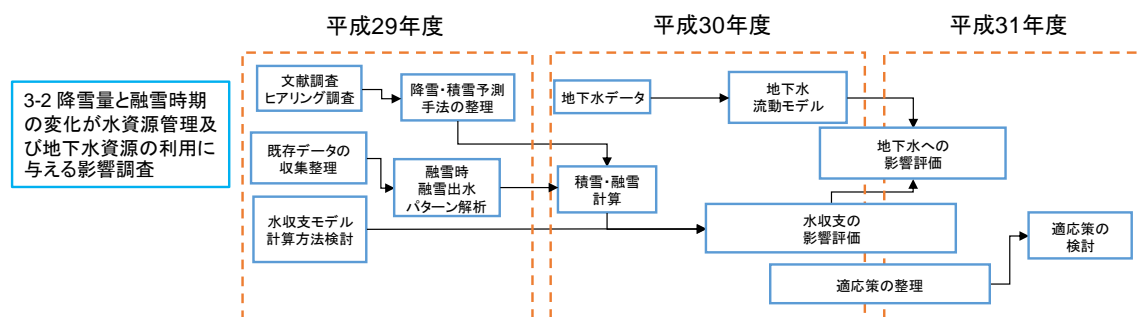


図 4-2 本調査の実施フロー(調査項目 3-2)

#### 4.1.4 気候シナリオ基本情報

本調査項目では表 4-1 に示す気候シナリオを利用した。

表 4-1 気候シナリオ基本情報(調査項目 3-2)

項目	降・積雪等への影響	地下水への影響
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ	
気候モデル	MIROC5、MRI-CGCM3	
気候パラメータ	平均気温、降水量、全天日射量	
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5	
予測期間	21 世紀中頃、21 世紀末	
バイアス補正の有無	有り(全国)	

#### 4.1.5 気候変動影響予測結果の概要

気候シナリオによる将来予測結果から、対象地域では年間積算した積雪水量が気温上昇に伴って減少する可能性が示された。黒部川及び神通川流域では、RCP8.5 シナリオでの 21 世紀末において顕著な積雪水量の減少及び融雪時期の早期化が見られ、地下浸透量も変化する可能性が示された。

##### 4.1.5.1 降・積雪等への影響

黒部川及び神通川の流域で平均した積雪水量(積雪を水に換算した量)の将来変化(図 4-3)から、RCP2.6 シナリオの 21 世紀中頃では、現在と比べて積雪水量の変化(流域平均積雪水量の年間最大値、流域全体での融雪時期)にも大きな変化は見られなかった。一方で、RCP8.5 シナリオの 21 世紀末では積雪水量が減少する可能性が示され、気候変動に伴い RCP8.5 シナリオでは約 20 日程度融雪時期が早まる可能性が示された。

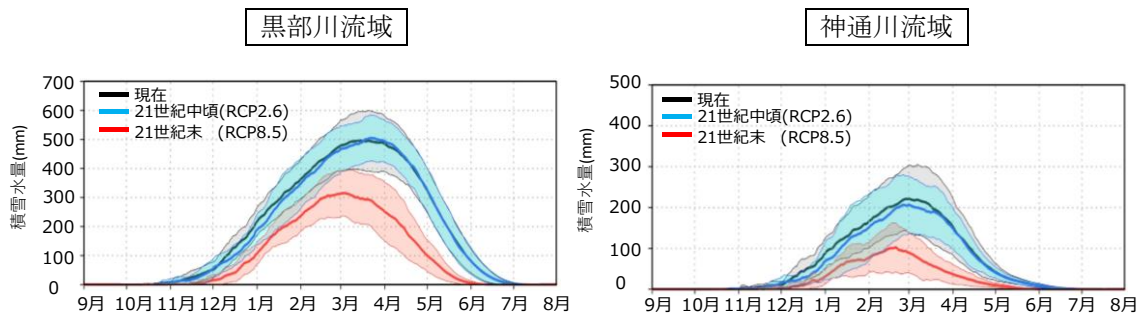


図 4-3 積雪水量(mm)の将来変化(流域平均)(MRI-CGCM3)

※陰影は±1σの範囲を示す

#### 4.1.5.2 地下水への影響

地下水資源に影響を与える指標として、流域毎の降雨量(降水量の内、雨として降った量)及び融雪量の和(図 4-4(上))、ならびに地下浸透量の将来変化(図 4-4(下))を調べた。黒部川流域では、降雨量及び融雪量の月別の合計は、融雪時期の変化を反映して RCP8.5 シナリオでの 21 世紀末では 11～4 月は現在より増加、5～6 月は現在より減少する可能性が示された。気温の上昇により、冬季の降水が雪ではなく雨となる頻度が高まること、また融雪の開始が早まることなどによると考えられる。RCP8.5 シナリオでの地下浸透量も降雨量及び融雪量と同様の变化傾向を示した。

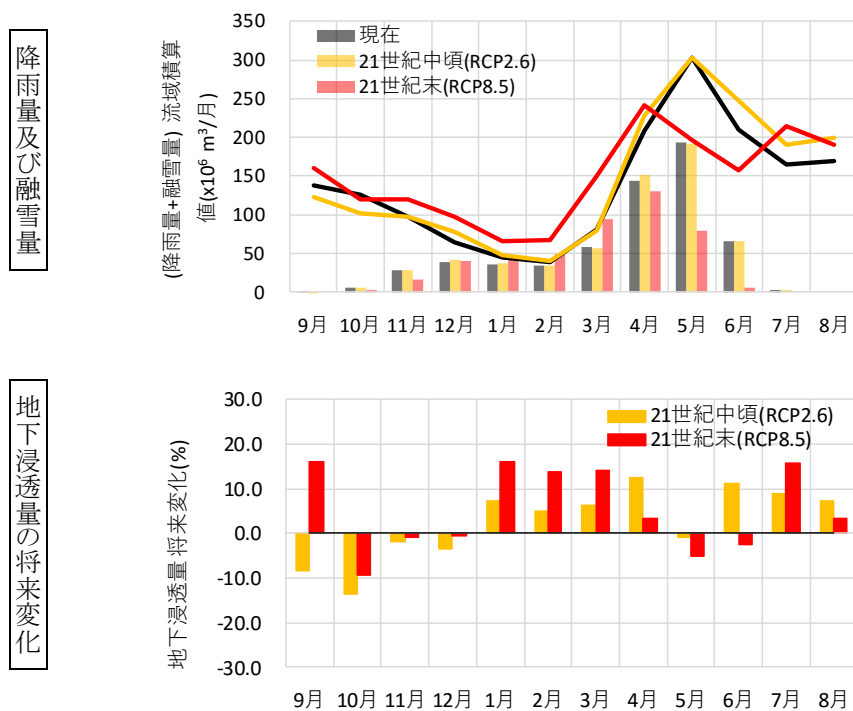


図 4-4 (上) 降雨量及び融雪量の黒部川流域合計値( $10^6 \text{ m}^3/\text{月}$ ) (扇状地上端部上流域の合計値) (MRI-CGCM3) 折線: 融雪量+降雨量、棒グラフ: 融雪量  
(下) 黒部川流域における地下浸透量の将来変化(流域合計値・%) (MRI-CGCM3)

#### 4.1.6 活用上の留意点

##### 4.1.6.1 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気候変動による降雪・積雪及び地下水資源に及ぼす影響を検討対象とし、特に、地下浸透量、積雪水量、融雪量、降雨量を評価した。

##### 4.1.6.2 本調査の将来予測の対象外とした事項

地下水の浸透及び降雪の状況は、将来の土地利用の変化が大きな影響を与えると考えられるが、本調査では土地利用は現状と同じものと仮定し、その変化を考慮していないことに留意が必要である。

##### 4.1.6.3 その他、成果を活用する上での制限事項

本調査で用いた気候シナリオデータは統計的ダウンスケーリング手法で作成されたものであり、豪雪などの極端な降雪は十分表現されていない。そのため本調査での評価結果は平均場に関する内容であることに留意が必要である。

#### 4.1.7 適応オプション

本調査で検討した適応オプションを表 4-2 に、その根拠を表 4-3 に示す。

表 4-2 適応オプション(調査項目 3-2)

適応 オプション	想定される 実施主体			現状		実現可能性				効果	
	行政	事業者	個人	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
休耕田を用いた 地下水涵養	●	●		普及が 進んで いない	・涵養用水の確保に際し関係者との調整が必要 ・実施にあたり涵養施設の維持管理が必要	△	△	△	△	短期	高
地下水利用の効率化 (自噴井戸の節水対策)		●	●	普及が 進んで いない	・バルブ設営により一時的に砂が混じる場合がある。 ・井戸所有者が実施主体のため、施策としての強制力が弱い	◎	○	△	◎	短期	高
雨水浸透施設の 整備	●	●	●	普及が 進んで いない	・導入、維持管理費用が必要となる。	◎	○	△	◎	短期	低
保水機能を持つ 森林の保全	●	●	●	普及が 進んで いる	・手入れ不足による下層植生の劣化 ・野生動物(シカ等)による食害	◎	○	△	◎	長期	中

表 4-3 適応オプションの根拠(調査項目 3-2)

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
休耕田を用いた地下水涵養	富山県内(魚津市、南砺市、立山町、朝日町)の他、秋田県、熊本県、福井県大野市、神奈川県秦野市等で実施事例あり。
地下水利用の効率化	黒部川扇状地の沿岸部で地下水の揚水量を 80%以上、削減することで塩水化の進行が緩和するという研究例がある。
雨水浸透施設の整備	一般的に普及している技術の導入促進が対策となるため、情報面の評価は「◎」とした。
保水機能を持つ森林の保全	保安林制度等に基づく実施事例あり。

## 4.2 気候シナリオに関する情報

### 4.2.1 気候シナリオ基本情報

本調査項目では表 4-4 に示す気候シナリオを利用した。

表 4-4 気候シナリオ基本情報(調査項目 3-2):再掲

項目	降・積雪等への影響	地下水への影響
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ	
気候モデル	MIROC5、MRI-CGCM3	
気候パラメータ	平均気温、降水量、全天日射量	
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5	
予測期間	21 世紀中頃、21 世紀	
バイアス補正の有無	有り(全国)	

### 4.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

対象地域内の気象官署地点(富山、高山、白川)における、冬季(12～2 月)平均地上気温、降水量、全天日射量の現在比の変化(21 世紀中頃及び 21 世紀末)を図 4-5 に示す。気候モデルとして本調査で用いた NIES 統計 DS データの MIROC5、MRI-CGCM3 双方の結果を示した。

図 4-5 より、気温上昇量は、21 世紀中頃では RCP2.6 及び RCP8.5 シナリオの間で大きな差異は見られない。21 世紀末については RCP2.6 シナリオと RCP8.5 シナリオ間での差異が大きく、RCP2.6 シナリオでは 21 世紀末における気温上昇量は 21 世紀中頃と同程度(+1～2 度)である一方、RCP8.5シナリオでは 4℃程度昇温する可能性が示された。

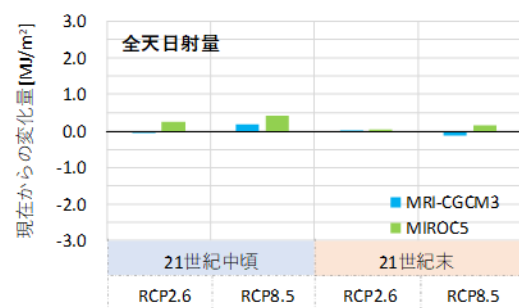
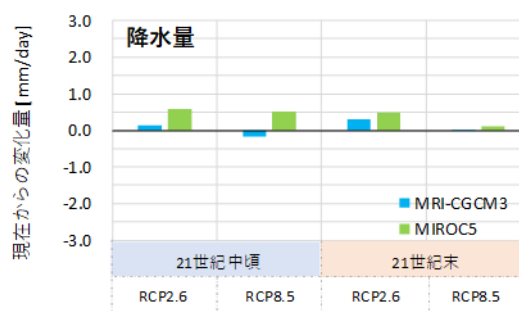
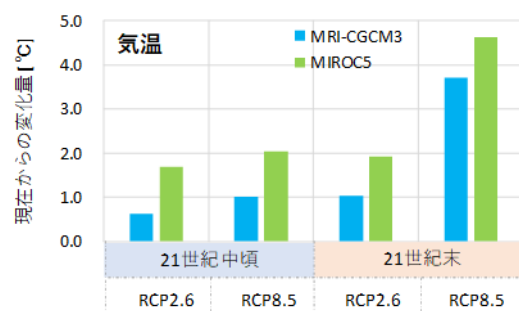


図 4-5 AMeDAS 地点(富山、高山、白川)における気象要素の将来変化  
(3 地点平均、冬季平均:12～1 月)  
(現在からの変化量)  
左上:気温(°C)  
右上:日降水量(mm/day)  
左下:全天日射量(MJ/m²)

#### 4.2.3 気候シナリオに関する留意事項

1981-2000 年における観測値との比較において、本調査で用いた NIES 統計 DS データの MRI-CGCM3 については気温・降水量ともに観測値と概ね類似した空間分布・出現傾向を示すことが確認された一方、MIROC5 では降水量の月変化傾向が観測値と大きく異なっていることが確認された(地点によるものの、観測値では6～7月にピークが出現する一方、気候シナリオでは12～1月にピークが出現する)。結果の利用においては、留意が必要である。

#### 4.2.4 バイアス補正に関する情報

観測値との比較により作成された統計的ダウンスケーリングであることから、本調査でのバイアス補正は行っていない。

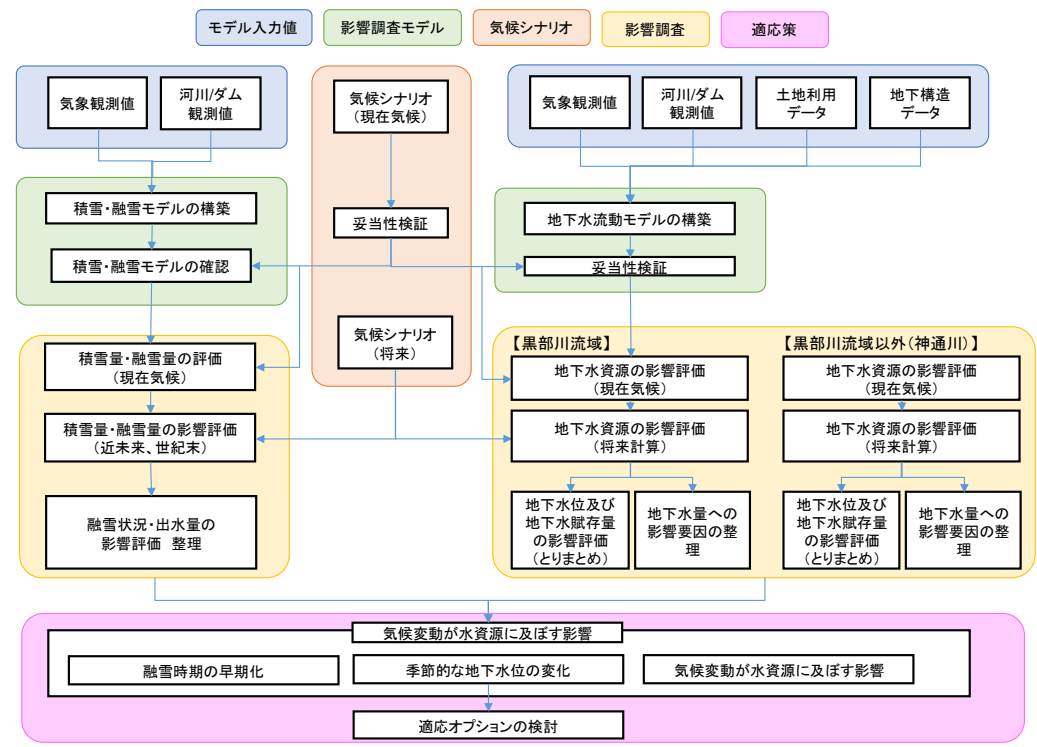
#### 4.2.5 気候シナリオ選択の理由

本調査は、豪雪ではなく平均的な降雪・積雪を想定していること、気温、降水量、日射量から降雪・積雪量等を推定する既往の手法を適用したことから、必要な要素の得られる統計的ダウンスケーリングの気候シナリオを選択した。

## 4.3 気候変動影響に関する調査手法

### 4.3.1 手順

本調査における調査フローを図 4-6 に示す。



### 4.3.2 使用したデータ・文献

本調査では気候シナリオの他に以下のデータを利用した。そのほか、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文献リストを参照のこと。

表 4-5 本調査で利用したデータ

種別	データ名称等	要素	出典・提供元
気象観測	気象官署・アメダスデータ(1986～2016 年)	気温、降水量、 積雪深	気象庁
地下水位	地下水位常時監視データ(1986～2016 年)	地下水位	富山県
河川流量	水文水質データベース(1993～2015 年)	流量、水位	国土交通省

### 4.3.3 有識者ヒアリング

本調査で実施したヒアリングのうち、主な内容を以下に示す。

表 4-6 (1) ヒアリング結果の概要(調査項目 3-2)

NO.	1
ヒアリング対象者	富山県環境科学センター 大気課 初鹿宏壮 主任研究員
日付	2017 年 12 月 8 日(金)
場所	富山県環境科学センター 大気課
概要	<ul style="list-style-type: none"><li>・本事業以前に富山県を対象とした文部科学省の気候変動適応研究推進プログラム(RECCA、平成 22-26 年度)及び県環境科学センターの調査等について、計算手法等の情報を収集。</li><li>・融雪の河川等への将来影響の確認には、山間部の降水量のモデル再現性が重要だが、現地のデータが乏しいため補正が難しい。</li><li>・地下水資源に関しては、市街地では、消雪需要により冬場の地下水が減少する懸念がある。</li></ul>

NO.	2
ヒアリング対象者	富山県 生活環境文化部 環境保全課指導係 藤沢弘幸 主任
日付	2017 年 12 月 8 日(金)
場所	富山県生活環境文化部環境保全課
概要	<ul style="list-style-type: none"><li>・富山県が取得・管理している地下水位データの内容及び利用について情報を収集。</li><li>・富山県が観測する地下水データは環境保全課で取りまとめを行っている。</li><li>・地下水採取量は地下水条例の規制地域及び観察地域として富山市及び高岡市、射水市等についてデータがある。</li></ul>

NO.	3
ヒアリング対象者	富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科 手計太一 准教授
日付	2018 年 9 月 21 日(金)
場所	富山県立大学
概要	<ul style="list-style-type: none"><li>・統計的 DS データを用いた将来影響評価結果及びそれを踏まえた適応オプションについて情報を収集。</li><li>・雪の推計方法の精度については、冬季全体でのボリュームが再現できていればまずは良いと思われる。</li><li>・融雪時期の変化による河川流量の将来変化について、国交省が利根川を対象とした事例がある。</li></ul>



表 4-6 (2) ヒアリング結果の概要(調査項目 3-2)

NO.	4
ヒアリング対象者	信州大学 藤縄克之 名誉教授
日付	2019 年 5 月 10 日(金)
場所	ホテルブエナビスタ
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人口減少に伴い、水道補修等の行政機能が維持できない自治体が増え、受益者負担増加に伴い地下水利用の増加に繋がる可能性がある。</li> <li>・気候変動影響に関して、気温変化は代かき期の早期化をもたらす可能性がある一方、融雪時期の変化は代かき期の農業用水不足をもたらす可能性もあり、水田の減少に繋がることも考えられる。</li> <li>・水田の涵養源としての利用は、技術的には十分可能だが、制度上の問題で実行できない。休耕田、耕作放棄地に水を張ることで地下水涵養が可能だが、水田に引く水は、水利権上は農業用水として利用する必要がある。</li> </ul>

NO.	5
ヒアリング対象者	富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科 手計太一 准教授
日付	2019 年 6 月 12 日(水)
場所	富山県立大学
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・将来影響評価結果及びそれを踏まえた適応オプションについて意見を交換。</li> <li>・地下水位の変化に対する適応オプションの候補としては、自噴井戸への節水設備導入、水田からの湛水、宅地転用の際の透水性舗装の導入、などが考えられる。</li> </ul>

#### 4.3.4 観測および実証実験

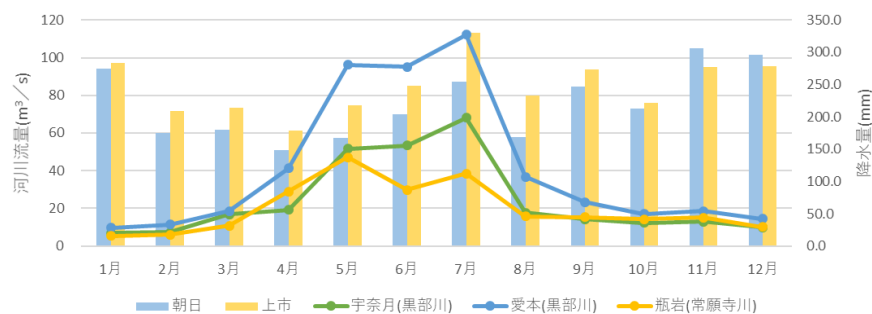
本調査項目では観測および実証実験は行っていない。

#### 4.3.5 気候変動影響予測手法の検討

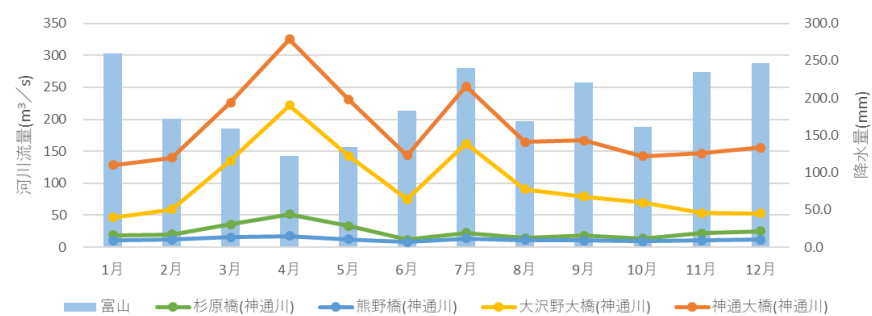
本調査の目的は、降雪・積雪量及び地下水を含む水資源に対して気候変動が与える影響を評価することであり、その入力条件となる降雪量並びに融雪量の変化を確認する必要がある。表 4-4 で示したデータには降雪に関するパラメータが含まれないが、松浦ら(2018)など先行研究で用いられている水収支解析手法を利用し、気温及び降水量から降雪・融雪量を推計した。なお、この手法は本調査の調査対象地域での適用実績がある。

なお、調査対象地域内の主な河川(黒部川、常願寺川、神通川、小矢部川、庄川)における河川流量は各水系における降雪及び積雪、融雪と密接な関連がある。各河川における月平均河川流量の平年値及びその近傍地点における月別降水量の平年値を図 4-7 に、そこから推定される融雪と河川流量への影響の時期を表 4-7 に示す。図 4-7 より富山県内の主要水系において、融雪期以外は概ね降水量と河川流量には一定の関連性が見られる一方で、融雪期には融雪の影響と見られる流量の増加が観測されている。なお、融雪の開始時期、ピーク時期は水系毎に異なり、また河川流量への影響の見られている時期と概ね一致している。

(a)黒部川水系、常願寺川水系



(b)神通川水系



(c)小矢部川水系、庄川水系

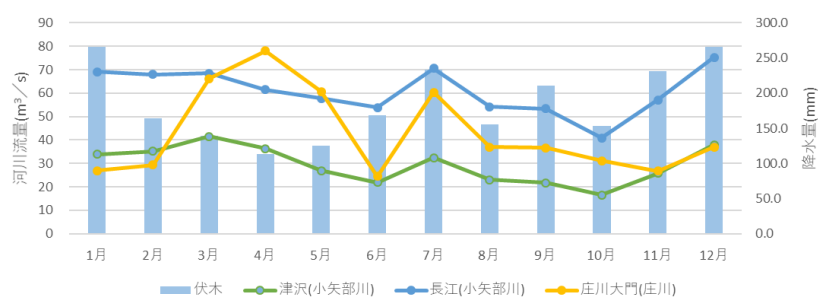


図 4-7 月別平均河川流量(m³/s)と月別降水量(mm、朝日、上市、富山、伏木)

(a) 黒部川水系、常願寺川水系、(b) 神通川水系、(c) 小矢部川水系、庄川水系

表 4-7 水系別融雪の河川流量への影響

水系		黒部川	常願寺川	神通川	小矢部川	庄川
融雪の河川流量への影響	大きさ	大	大	大	不明	大
	開始時期	3-4 月	3-4 月	2-3 月	10-11 月	2-3 月
	ピーク時期	5 月	5 月	4 月	3 月	4 月

## 4.3.6 影響予測モデルに関する情報

### 4.3.6.1 水収支解析モデル

本調査では松浦ら(2018)に従い、気温、降水量、全天日射量を入力値として、図 4-8 に示すフローで降雪量、融雪量、地下浸透量などを算出した。なお、現在、21 世紀中頃及び 21 世紀末の各対象期間において、日別・メッシュ別に積雪水量、表面流出量等を推計した上で、空間・時間平均を行い、現在と将来気候を比較した。

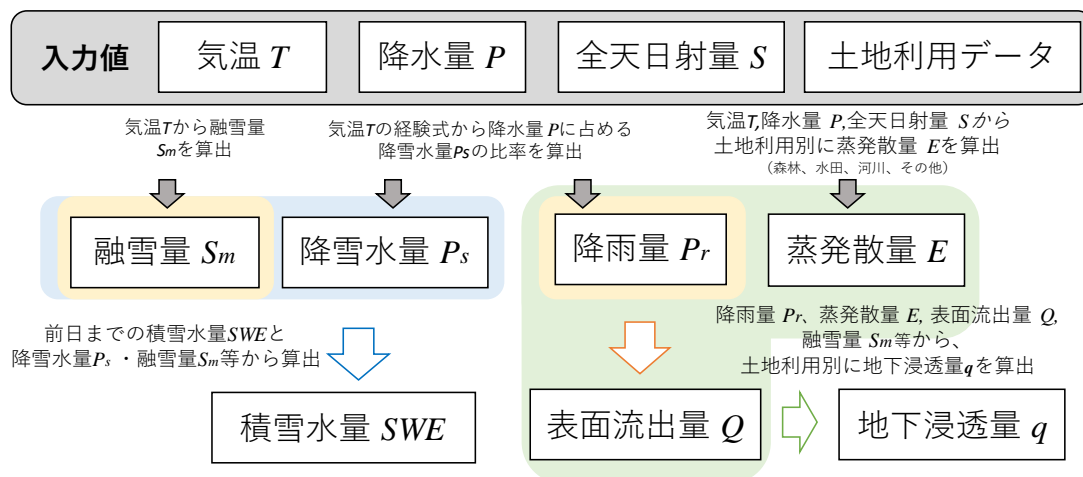


図 4-8 水収支解析手法の計算手順(概要)<sup>2</sup>

### 4.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

4.3.6.1 で示した流域の水収支評価モデルの入力には、土地利用データのほか、気候シナリオの気温、降水量、全天日射量が必要となる。

### 4.3.8 影響予測における留意事項(制限事項)

上述の影響評価モデルは平均場を対象としているため、極端な降雪現象やそれに伴う消雪用地下水利用の増加等の影響評価は実施していないことに注意が必要である。

また、利用した気候シナリオデータはアメダス観測値との定量的・定性的比較により類似した傾向を示すことを確認しているが、高標高地域では降雪・積雪等の観測データが限定的であるため、手法の十分な比較検証が行えていないことに注意が必要である。その他、土地利用は現状固定として将来変化は考慮していない。

<sup>2</sup> 降雪水量(mm) : 降水量の内、雪として地表に到達する部分を水分量に換算した値  
積雪水量(mm) : 積雪として存在する雪を水分量に換算した値

## 4.4 調査結果

### 4.4.1 文献調査結果

気候シナリオを用いた影響評価に先立ち、降雪・積雪・融雪等に関する地域特性の他、水資源管理、地下水資源等に関する既往文献調査を行った。以下に調査結果を示す。

#### 4.4.1.1 水資源に関する地域特性

富山県は全面積の約 67%を森林が占め、そのうち約 70%が保安林として指定されており(富山県, 2013)この豊かな森林と、山岳域の下流の扇状地等が富山県の水資源の基礎となっている。県内の水需要は農業用水が90%以上を占め、次いで工業用水が約4%、生活用水が約2%と(富山県, 2013)、農業用途での水利用が圧倒的に多い。また、調査対象地域(富山県)には5つの主要河川(黒部川、神通川、庄川、常願寺川、小矢部川)が存在し、富山県内の河川流域面積の約 7 割を占め、他県の主要河川と比較して急峻な山岳地域から流れる急流が多く平野部で扇状地となっている。

#### 4.4.1.2 降雪・積雪・融雪等に関する特性

この地域は国内屈指の豪雪地域であるが、降雪時の特徴として北海道等国内北部と比較し、気温が高い状態での降雪であることが多く、冬季の平均地上気温は 0℃を超えている地域も多い(Ishizaka, 2004)。これらの地域での観測による降積雪量の変動は気温との相関が見られるとの報告もあり(鈴木, 2006, Yamaguchi et al., 2011)、将来の気候変動の影響に関しては、北陸地方では降雪量の減少が予測されている(Kawase et al., 2013)。特に、富山県内の気候変動による将来予測としてみると、2030 年代の近未来では年間総降雪量が 2000 年代の 60%程度と大きな減少が予測されている一方で、年間の最大降雪量は 80%程度と短時間の豪雪は減少幅が年総降雪量より小さいことが予測されている(初鹿ら, 2015)。

#### 4.4.1.3 地下水資源

対象地域(富山県)には豊富な地下水が存在し、産業及び生活用途等に利用されている。行政では地下水の保全及び適正利用を目的に富山県地下水指針(富山県, 2018)を策定しており、地下水確保に向け、適正揚水量を定めるとともに、消雪に地下水を利用する冬期間の安全水位の設定、また水循環を考慮した適切な地下水の創水(地下水の涵養、及び水循環系の健全性の確保)を定めている。

富山県内の地下水の構造については、主要な 5 河川と地下水の関係が安定同位体等を用いた手法等で調査されており、平野部における地下水は、近隣河川や降水など、複数の水系が相互に影響し合い、涵養されている(水谷と桜井, 1988; 水谷ら, 2001)。

地下水資源を取り巻く近年の課題としては、冬季の消雪への利用による地下水位の変化、都市化や水田の減少による地下水涵養量の減少などが挙げられる(富山県, 2018)他、気

候変動による降雪変化より消雪需要そのものが変化する可能性も考えられる。また、気候変動による降水及び融雪の変化は、涵養源である河川及び降水等への影響を通じ、複雑な構造を持つ地下水へ影響する可能性が考えられ、松浦ら(2018)では年間降水量が異なるケースで地下浸透量、表面流出量の減少を計算しているが、気候だけでなく土地利用の変化が地下浸透量等に大きな影響を与えることを示している。

#### 4.4.2 有識者ヒアリングの結果

本事業以前の富山県を対象とした気候変動調査成果として、文部科学省気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)について手法等の情報を収集し、本調査の検討に用いた。また、利用可能な地下水位データを県庁から取得するにあたり、情報の特性等を伺った。

適応オプションの検討に当たっては、地下水保全に向けた取組全般の他、休耕田等の水田を利用した湛水に当たっての水利権、土地改良区等との調整など、考慮すべき点について情報を収集した。また、影響評価結果を踏まえて考えられる適応オプションとしては、水田からの湛水、透水性舗装の導入促進及び自噴井戸への節水設備導入促進などが考えられることが指摘された。

#### 4.4.3 観測や実証実験の結果

本調査項目では観測および実証実験は行っていない。

#### 4.4.4 気候変動影響予測結果

##### 4.4.4.1 降・積雪等への影響

##### ア. 年間積算での積雪水量の変化

将来の積雪水量の変化を、MRI-CGCM3 での日積雪水量の年間積算値(cm)<sup>3</sup>を用いて示す(図 4-9)。現在では、積雪水量は標高の高い地域ほど多い傾向にあるが、21 世紀中頃では、RCP2.6 及び RCP8.5 シナリオどちらにおいてもこれらの標高の高い地域より山腹～中腹付近で比較的積雪水量の減少が大きい結果となった。21 世紀末では、RCP2.6 及び RCP8.5 シナリオ双方において標高の高い地域においても積雪水量が減少し、特に気温上昇の大きい RCP8.5 シナリオでの減少がより大きい。

シナリオ間の違いで見ると、21 世紀末は RCP2.6 及び RCP8.5 シナリオどちらにおいても全域的に積雪水量が減少するものの、気温上昇の差異を反映してシナリオ間の差が 21 世紀中頃よりも顕著である。

---

<sup>3</sup>日別積雪水量(cm/日)の年間積算値を 20 年平均した値

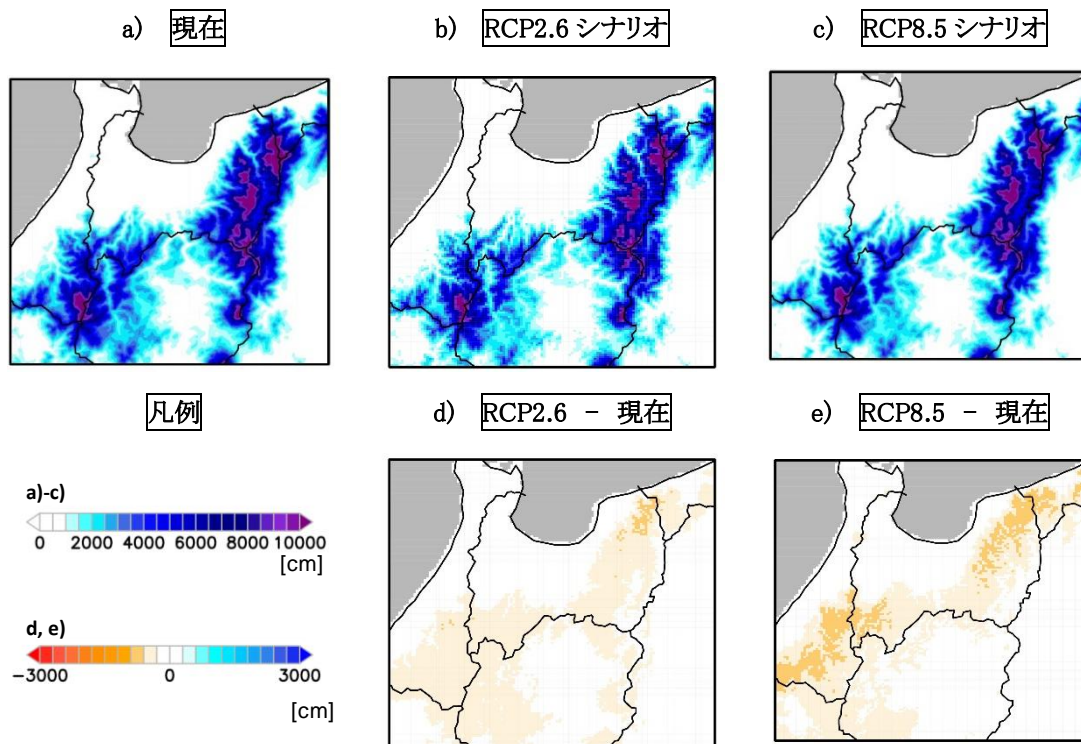
## イ. 河川流域毎の積雪水量の変化

次に、富山県内を流れる主要河川流域のうち黒部川及び神通川における 21 世紀中頃及び 21 世紀末における融雪時期の変化を予測した。MRI-CGCM3 での、河川流域平均積雪水量の時系列を図 4-10 に示す。

21 世紀中頃では、どちらの流域でも RCP2.6 及び RCP8.5 シナリオの双方において大きな変化は見られず、融雪の傾向、積雪の消失時期とも大きな変化は見られない。これらのことから 21 世紀中頃では融雪時期への気候変動影響は小さい可能性が高い。

一方、21 世紀末では、RCP2.6 及び RCP8.5 シナリオの双方において、どちらの流域でも積雪水量が減少するが、特に RCP8.5 で減少幅が大きく、黒部川では最大値が約 4 割、神通川流域で約 5 割減となる可能性が示された(図 4-10 右列)。また、21 世紀末では気候変動に伴う融雪時期の変化が見られ、RCP8.5 シナリオでは双方の流域では約 20 日程度融雪時期が早まる傾向が見られた。

【21 世紀中頃】



【21 世紀末】

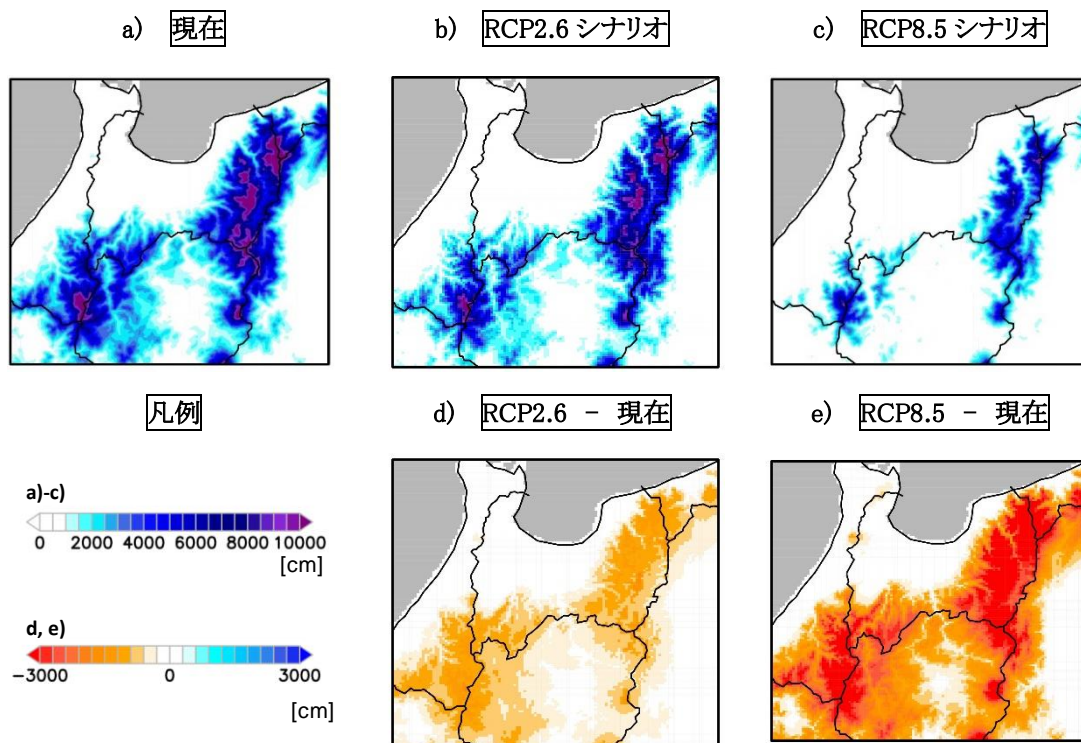


図 4-9 日積雪水量の年間積算値(cm)の将来変化(20 年平均値) (MRI-CGCM3)  
(上段:21 世紀中頃, 下段:21 世紀末)

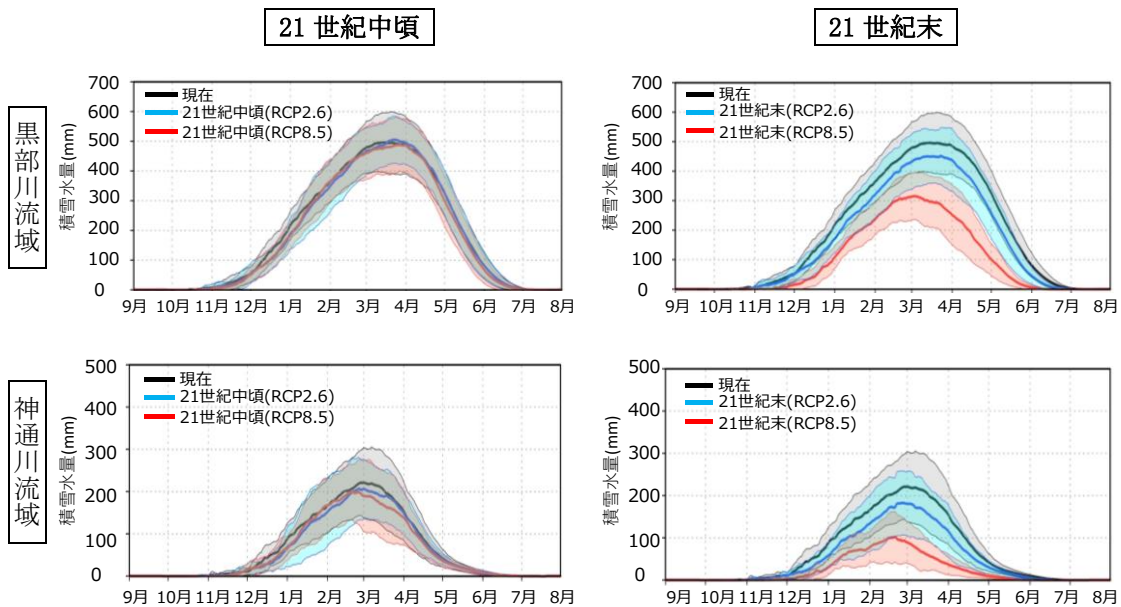


図 4-10 積雪水量(mm)の将来変化(流域平均値) (MRI-CGCM3) (上:黒部川、下:神通川)  
陰影は各期間の 20 年間における $\pm 1\sigma$  の範囲を示す

#### 4.4.4.2 地下水への影響

地下水位に影響を与える指標として、河川への流入に影響を与える降雨量(降水のうち、降雪でないもの)及び融雪量、ならびに地下浸透量の将来変化を予測した。黒部川及び神通川流域における各指標の流域合計値を図 4-11 に示す。

黒部川流域では、降雨量及び融雪量の流域合計値は、RCP2.6 シナリオでの 21 世紀中頃では大きな変化は見られない一方、融雪時期の変化を反映して RCP8.5 シナリオでの 21 世紀末では 11～4 月は現在より増加、5～6 月は現在より減少する可能性が示された。RCP8.5 シナリオでの地下浸透量も降雨量及び融雪量と同様、冬季に増加し、その後減少する傾向を示した。

神通川流域においても黒部川と同様の傾向が見られ、降雨量及び融雪量の流域合計値は、RCP8.5 シナリオでの 21 世紀末では 11～3 月は現在より増加、4～5 月は現在より減少する傾向が示された。

気候変動に伴う地下浸透量の季節的な変化により、地下水位にも変化が生じる可能性が示唆された。



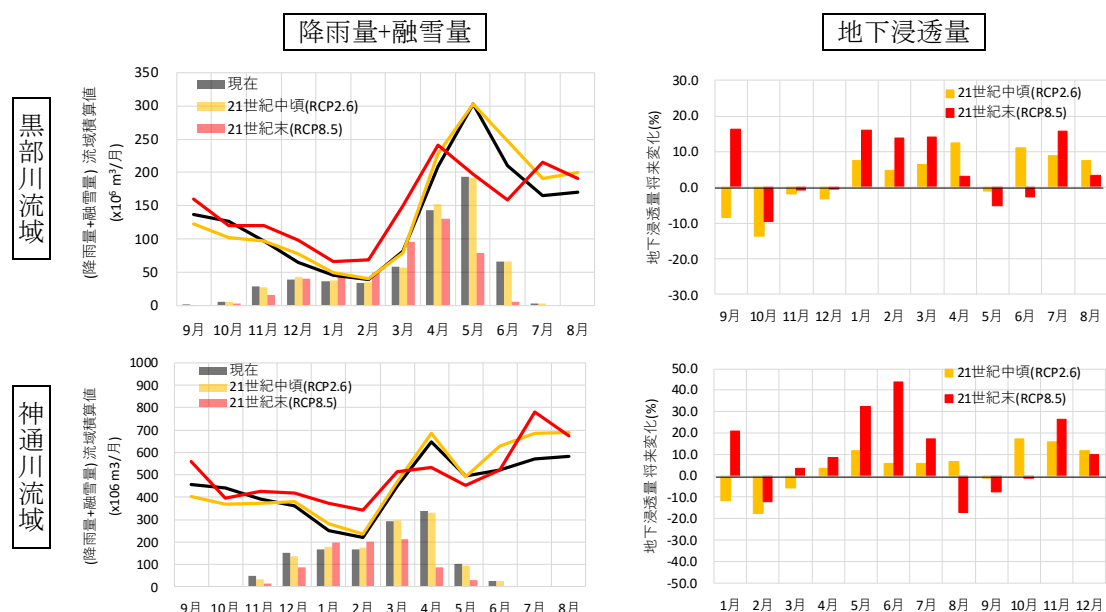


図 4-11 融雪量、降雨量及び地下浸透量の流域合計値(MRI-CGCM3,月別,20年平均値)  
 左列:降雨量及び融雪量の流域合計値(10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/月)、折線:融雪量+降雨量、棒グラフ:融雪量  
 右列:地下浸透量の流域合計値の将来変化(%)  
 上段:黒部川流域、 下段:神通川流域

#### 4.4.5 結果を活用する上での留意点・制限事項

本調査では平均場における降雪、積雪、融雪及び地下水への気候変動影響の評価を行ったが、より詳細な評価には、将来の土地利用の変化など、社会経済的な影響も考慮する必要がある。また、本調査では統計的ダウンスケーリング手法による気候シナリオを利用しており、豪雪などの極端な現象を踏まえた地下水への影響の評価は行っていないことにも留意が必要である。

### 4.5 適応オプション

#### 4.5.1 手順

上述の調査から、河川流量及び地下浸透量の変化は、21 世紀末には地下水位に季節的な変化を及ぼす可能性が示唆された。調査対象地域では地下水資源を産業用途や消雪等の日常用途に活用しており、地下水環境の安定化は重要であるといえる。以上を踏まえて、季節的な地下水位の変化に対する適応オプションを検討した。

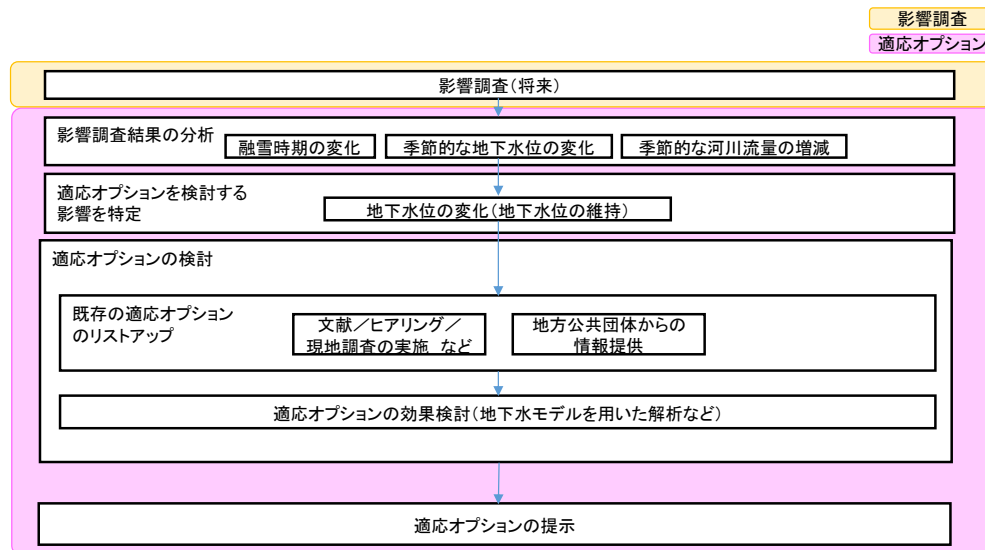


図 4-12 適応オプションの検討フロー

#### 4.5.2 概要

地下水位の変化に対する、適応オプションを表 4-8 に、その根拠を表 4-9 に示す。

表 4-8 適応オプション(調査項目 3-2):再掲

適応 オプション	想定される 実施主体			現状		実現可能性				効果	
	行政	事業者	個人	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
休耕田を用いた 地下水涵養	●	●		普及が 進んで いない	・涵養用水の確保に際し関係者との調整が必要 ・実施にあたり涵養施設の維持管理が必要	△	△	△	△	短期	高
地下水利用の効率化 (自噴井戸の節水対策)		●	●	普及が 進んで いない	・バルブ設営により一時的に砂が混じる場合がある。 ・井戸所有者が実施主体のため、施策としての強制力が弱い	◎	○	△	◎	短期	高
雨水浸透施設の整備	●	●	●	普及が 進んで いない	・導入、維持管理費用が必要となる。	◎	○	△	◎	短期	低
保水機能を持つ 森林の保全	●	●	●	普及が 進んで いる	・手入れ不足による下層植生の劣化 ・野生動物(シカ等)による食害	◎	○	△	◎	長期	中

表 4-9 適応オプションの根拠(調査項目 3-2):再掲

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
休耕田を用いた地下水涵養	富山県内(魚津市、南砺市、立山町、朝日町)の他、秋田県、熊本県、福井県大野市、神奈川県秦野市等で実施事例あり。
地下水利用の効率化	黒部川扇状地の沿岸部で地下水の揚水量を 80%以上、削減することで塩水化の進行が緩和するという研究例がある。
雨水浸透施設の整備	一般的に普及している技術の導入促進が対策となるため、情報面の評価は「◎」とした。
保水機能を持つ森林の保全	保安林制度等に基づく実施事例あり。

### 4.5.3 適応オプション

#### 4.5.3.1 休耕田を用いた地下水涵養

休耕田等に対して湛水を行うことで地下水涵養の効果が見込まれる。富山県でも既に実験が行われている。

#### 4.5.3.2 地下水利用の効率化(自噴井戸の節水対策)

調査対象地域(黒部川扇状地)では自噴井戸の割合が高いことから、これら既存の自噴井戸に対して節水効果のある小径ノズルの取付け、吐出高さの変更、バルブ取付け等を推進し、効率的な地下水利用を促す。

#### 4.5.3.3 雨水浸透施設の整備

農地から宅地等へ転用する際に、駐車場・歩道等の舗装に透水性舗装を導入することで地下浸透量を増加させると共に、個人宅等においても雨水浸透ます等の雨水浸透施設を普及させることで一層の効果増大を図る。

#### 4.5.3.4 保水機能を持つ森林の保全

森林には水源涵養機能や水土保持機能等があることから、上流域を含めて森林保全を図ることで、地下水涵養量の維持・向上を図る。

## 4.6 引用文献一覧

- ・ Ishizaka, M., 2004: Climatic response of snow depth to recent warmer winter seasons in heavy-snowfall areas in Japan, *Annals of Glaciology*, 38
- ・ Kawase, H., M. Hara, T. Yoshikane, N. Ishizaki, F. Uno, H. Hatsushika, F. Kimura, 2013: Altitude dependency of future snow cover changes over Central Japan evaluated by a regional climate model, *J. Geophys. Res.*, 118.
- ・ 鈴木博人, 2006: 新潟県とその周辺における降積雪量の 1927～2005 年の経年変化, *天気*, 53-3.
- ・ 富山県, 2013: とやま 21 世紀水ビジョン.
- ・ 富山県, 2018: 富山県地下水指針.

- ・ 初鹿宏壮, 相部美佐緒, 笹島武司, 馬夔銚, 川瀬宏明, 吉兼隆生, 宇野史陸, 鈴木智恵子, 石崎紀子, 木村富士男, 2015: 富山県における温暖化に関する調査研究(Ⅲ)－富山県の気候の近未来予測－, 平成 27 年度版富山県環境科学センター年報, 第 4 章 1(2).
- ・ 松浦 拓哉, 手計 太一, 富樫 聡, 緒方 陸, 2018: 分布型水収支モデルを用いた土地利用変化と気候変化が富山県域の水資源量に与える影響評価, 土木学会論文集 B1(水工学), 74-4, I\_37-I\_42, 2018.
- ・ 水谷義彦, 桜井和浩, 1988: 安定同位体および科学データによる富山県常願寺川扇状地地下水のかん養源の同定, 京都大学防災研究所年報, 31(B-2).
- ・ 水谷義彦, 佐竹洋, 山邊綾子, 宮地ひろみ, 間瀬暢彦, 山村嘉代子, 2001: 扇状地浅層地下水の水素および酸素同位体比, 地下水学会誌, 43(1).
- ・ Yamaguchi, S., Abe, O., Nakai, S., & Sato, A., 2011: Recent fluctuations of meteorological and snow conditions in Japanese mountains, *Annals of Glaciology*, 52(58).