室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

北海道で考えるべき地球温暖化への適応策：水資源リスクへの対応 (後編)

メタデータ	言語: jpn 出版者: ドーコン 公開日: 2016-03-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中津川, 誠 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008601

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

北海道で考えるべき地球温暖化への適応策 ： 水資源リスクへの対応（後編）

著者	中津川 誠
雑誌名	Docon Report
巻	199
ページ	2-7
発行年	2015-12
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008601

エッセイ

北海道で考えるべき地球温暖化への適応策
～水資源リスクへの対応～

室蘭工業大学大学院くらし環境系領域 教授
中津川　誠
Nakatsugawa Makoto



略歴

1986年　3月　北海道大学修士課程（衛生工学専攻）　修了
1986年　4月　北海道開発庁採用　北海道開発局・土木試験所配属
1997年　4月　北海道開発局・石狩川開発建設部・維持管理課長
2001年　7月　北海道開発土木研究所・環境研究室長
2005年　7月　国土交通省・中部地方整備局・豊橋河川事務所長
2007年10月　室蘭工業大学・建設システム工学科准教授
2012年10月　室蘭工業大学・大学院工学研究科教授
現在に至る

主著

積雪寒冷地の水文・水資源（分担）、信山社サイテック、1998年
室蘭工大　未来をひらく技術と研究（分担）、北海道新聞社、2014年

主な活動

水文学、河川工学、水環境工学を専門とし、洪水予測、水循環メカニズム、水環境改善などの調査研究に取り組んできた。北海道河川委員会委員長、北海道環境影響評価審議会委員、北海道国土利用計画審議会委員、北海道開発局鵡川・沙流川リバーカウンセラーなどの社会的活動および水文・水資源学会理事（企画事業委員会委員長）、土木学会水工学委員などの学会活動に従事してきた。

1. はじめに

地球温暖化の影響について、既報[1)]では大雨や融雪による洪水・土砂災害といったtoo much waterの問題を取り上げたが、合わせて極端な少雨や積雪の減少（too little water）による水資源の逼迫や水環境の悪化といった問題も懸念されている。北海道は冬季の積雪が天然のダムの役割を果たし、最も大口の需要がある農業の灌漑時期には雪解けで安定的な水供給が自然になされることもあり、日本の少雨地帯で起きるような大渇水とは無縁の地域と見られている。北海道の人自体も「洪水」はともかく「渇水」というのは災害としては実感しづらいであろう。しかしながら、この水資源上恵まれている環境が将来とも保証されるのかどうか？それが損なわれるようであれば、適応のあり方はどうすべきか？ということも北海道の地球温暖化問題では今から考えるべき重要課題と考える。

すでに紹介したように気候変動に関する科学的知見を集約したIPCC報告書は、2007年の第4次評価報告書（AR4）、2014年の第5次評価報告書（AR5）と公表され、今後の社会経済情勢に応じた気候変動の予測を示している。AR5は、AR4と比べて気温、降水量といった現象面上の予測結果はさほど変わっていないと思われるが、どのような取り組みをすればどのような世界（予測結果）にたどり着くかを明確にすることで、速やかな行動を促すような意図が感じ取れる。また、最近、グローバルな気候変動がローカルな影響としてどのように現れてくるか？それへの対策はどのようにすべきか？といった地域社会レベルの取り組みを可能にするような知見や情報も出されつつある。この流れを受けて、今後地球温暖化に対する地域社会レベルでの各種施策の立案・実施というステージに進むとみられる。

そこで、北海道という積雪寒冷地という特色をもつ地域の水資源が今後どのような問題に直面する可能性があり、どのように適応するかを思案してみた。

2. 地球温暖化が我が国の水資源に及ぼす影響

AR4では、今後の気候変動で「雪解けの早まりと、水需要を雪に依存する流域の干ばつのリスク増大」といった水資源上のリスクを指摘している[2)]。想定されるさまざまなリスクを総括したものを**図1**に示す。

地球温暖化の将来予測は今後の世界の社会・経済動向によって結果が異なってくる。そこでAR4では社会情勢に応じた温室効果ガスの排出シナリオを複数想定して予測をおこなっている。前置きがやや長くなるが、温暖化シナリオの考え方[3)]について補足しておく。IPCCの気候変動予測報告書では、第3次（TAR）・第4次（AR4）はSRES（Special Report on Emissions Scenarios）、第5次（AR5）からはRCP（Representative Concentration Pathways）というシナリオ設定が適用されている。SRESシナリオとは、今後の温室効果ガスの排出量を、世界の経済

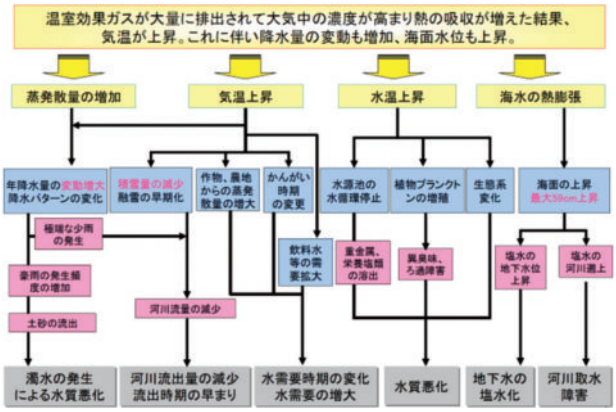


図１　気候変動による水資源上のリスク
（国土交通省水資源部，「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメント」について（中間とりまとめ）参考資料より）

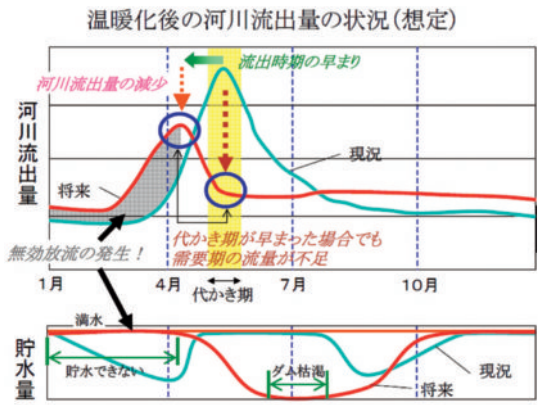


図２　河川流量の変化イメージ
（国土交通省水資源部，「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメント」について（中間とりまとめ）参考資料より）

発展とグローバル化の将来像に基づいて設定したものである。たとえば、A２は「高い経済成長と地域の独自性」を仮定したシナリオとなる。それに対し、RCP シナリオは政策的な緩和策を前提として、将来温室効果ガスをどのような濃度に安定化させるかという考え方から設定される。言い換えると、気温上昇を＋x℃に抑えるためにはどのような社会経済状況を実現すべきか？といった目的主導型のシナリオとなる。たとえば、RCP 8.5 は「2100 年の時点で放射強制力が 8.5 W/m^2 を超え、上昇が続く」というもので、結果からみると SRES・A２シナリオに相当するものとなる。

気象庁の「地球温暖化予測情報第６巻」[4] は、IPCC 温室効果ガス排出シナリオのうち A２シナリオ（経済重視で地域志向が強まると仮定したシナリオ）のもと、20 km メッシュの空間解像度をもつ地域気候モデル（RCM 20）を用い、日本付近の気温、降水量、積雪量などの将来予測を示している。それに基づく試算の結果[5]、現況期間（1981～2000 年）に対し、21 世紀末将来期間（2081～2100 年）の我が国の水資源は、自然現象面で以下のようなリスクがあると指摘されている。

・降水量の変動幅の増大により、将来期間においてより少雨となる地域が増大する。
・各地で大幅な積雪量の減少と融雪時期の早まりにより、代かきなどの農業用水の需要期に河川流量が減少し、今まで以上にダムからの水の補給が必要となる。一方、時期の早まった融雪水が満水状態の貯水池に流入しても貯留できず、有効に利用できない河川流量が増大し、少雨とあいまって、渇水が発生する。これらのことから、融雪水に依存する地域では、渇水リスクが高まるおそれがあると考えられる。イメージを**図２**に示す。

なお、実際の水資源リスクに関しては、以上のような自然現象面のみならず、今後の人口動向、経済成長、食料自給率等の社会状況の変化に伴う需要変動を勘案する必要性も指摘されている[5]。

3. 地球温暖化で予想される石狩川流域の将来気候

北海道・石狩川流域という地域レベルでの気候は将来どのようになるだろうか？先に示した A２シナリオに基づく RCM 20 を用いた試算が北海道開発局[6] から示されているので、その結果を抜粋する。

・気温；**図３**に示すように、石狩川流域で現況（1981～2000）と比較すると、21 世紀末（2081～2100）の気温は一年を通して上昇し、その上昇量は厳冬期（1 月・2 月）ほど大きく、約３℃程度上昇するとされる。
・降水量：石狩川流域で現況（1981～2000）と比較すると、21 世紀末（2081～2100 年）の降水量は、厳冬期（1 月・2 月）と夏季（7 月・8 月）で増加し、それ以外の月では概ね変化しない。一方、無降水日数が、春先（3 月・4 月）および夏季末期から初冬（9～12 月）で増加することから、春先と夏季末期～初冬に集中した降雨が発生する可能性がある。また、降雪量は、厳冬期（1 月・2 月）で増加し、初冬（10～12 月）および春先（3 月・4 月）で減少するとされる。
・積雪水量：**図４**に示すように、降雪量の減少や融雪の早まりや増加によって顕著に減少するとみられる。

4. 地球温暖化が石狩川流域の水資源へ及ぼす影響

ここでは筆者らが温暖化による石狩川流域の水資源への具体的影響を試算した結果の一つ[7] を紹介する。試算には RCM 20 の A２シナリオの現況期間（1981～2000）および将来期間（2081～2100）の計算出力値を使うが、ここで計算された現況期間値はあくまでもシミュレーションの結果なので観測値とのずれがある。そこで計算値を観測値に基づき補正する必要がある。これを「バイアス補正」という。さらに、計算出力格子が 20 km では、地域レベル

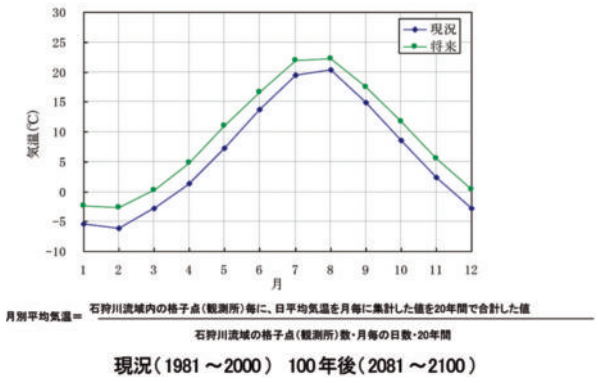


図３　石狩川流域の気温変化の予測結果[6)]

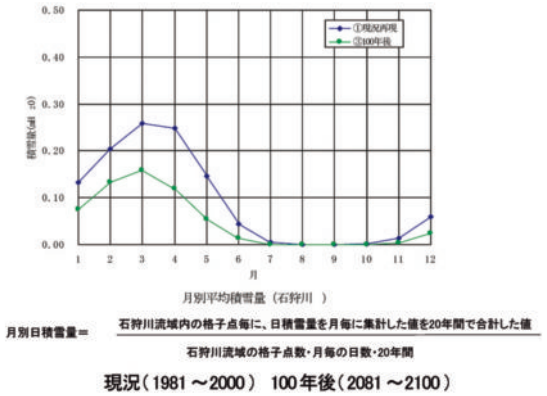


図４　石狩川流域の積雪水量変化の予測結果[6)]

の評価にはまだ粗すぎる。そこで、たとえば 1 km 格子といったようなより細かい空間スケールで使えるように情報を細密化する必要がある。これを「ダウンスケール」という。

以上のような前処理を経た降水量・気温・風速などといった計算値を、筆者らが開発し、石狩川流域への適用事例がある流域水循環モデル（LoHAS）[8)] に入力し、現況期間と将来期間の河川流量やダム流入量を推算した。

4.1　石狩川流域の水利用への影響

石狩川流域（流域面積 14,327 km^2）には、河川沿いに日本有数の農業地帯を形成し、北海道の産業を支えている。ここでは 4 月から 6 月の融雪期は融雪出水によって年間を通して一番流量が多い時期であり、稲作では田植えが始まる 4 月下旬から 5 月にかけて代かきのために多量の水が使用されている。

図 5 に石狩大橋地点の現況期間と将来期間の日流量の 20 年平均値を示す。結果をみると、融雪期の早期化に伴い 5 月～6 月の流量が減少し、融雪のピークが 4 月下旬から上旬に早まっていることがわかる。また、冬期間の 12 月～2 月の流量増加が見られ、これは冬期の降水が降雨として降ることで積雪として貯留せずに流出していることが要因として挙げられる。さらに、融雪期間（4 月～6 月）に

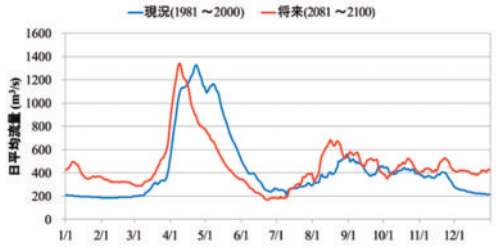


図５　石狩大橋地点の日平均流量の将来予測結果

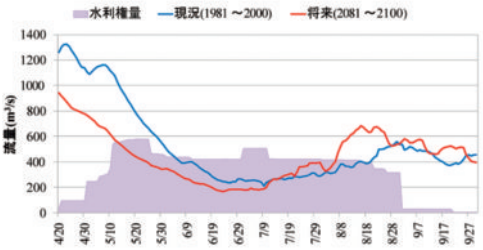


図６　灌漑用水の水利権量と日平均流量の比較
（流量は石狩大橋地点、水利権量は合計値）

おける将来の流出量の総量の変化に着目すると、将来は現況に対して融雪期間で約 2 割の流量減少となった。

このような融雪期間の流量減少が利水、とくに農業用水に与える影響はどうなるであろうか？この期間における石狩大橋地点の流出量と灌漑用水の水利権量合計量を比較したものも**図 6** に示す。図より 4 月下旬から 6 月中旬にかけては現況より将来の流量減少が顕著であり、とくに 5 月中旬の最も需要のある代かき期に水利権量を下回っている。以上の結果は現況と将来の平均的な状態がどのようになるかを示したものであり、当然平均線のまわりに幅があり、年によってはこれより条件が良くなることも悪くなることもあることに留意すべきである。

また、全期間、全取水地点において水利権量を 100%取水しているわけではないので、実態上の影響は不明であるものの、潜在リスクは大きくなる可能性があることを指摘しておきたい。さらに、気温変化が作物生育へ与える影響や冷害発生のリスクに関しては、ここでは考慮していない。あくまでも取水可能な河川の水量変化だけに着目したものであることを付記しておく。

4.2　豊平川流域の水利用はどうなるか？

札幌市の水がめである豊平川上流域のダムは温暖化しても適切な水供給機能を維持できるであろうか？豊平川は**図 7** に示すように流路長 72.5 km、流域面積 960 km^2 であり、札幌市民 180 万人の水道水のおよそ 98%は豊平川からの取水に依存しており、水資源管理は重要な課題である。その上流部には豊平峡ダム（流域面積 134 km^2）と定山渓ダム（流域面積 104 km^2）を有し、両ダムともに洪水調節機能および発電・水道への利水を目的とした多目的ダムである。



図７　豊平川流域の概要

規定の水供給を行いながらダムの貯水量がどのように変化するか？（言い換えれば下流の水供給を適切に行い得るように貯水量が確保できるか？）を試算してみた。計算ではダム貯水池への流入量を流出モデルより推算し、操作規則や下流の利水を勘案した放流操作で貯水量（貯水位）を求める。**図 8** に豊平峡ダムおよび定山渓ダムの「現況期間」の推定結果、**図 9** にそれらの「将来期間」の推定結果を示す。両ダムともに現況では全期間で利水放流分の放流操作を行うことができる。５月・６月に着目すると、放流量（紫色の面）は実績利水放流量（黒色の破線）より多くなる期間が見られる。これは、利水放流量を超える放流操作（洪水調節）の実施を表す一方で十分な利水量を確保していることも意味している。一方、将来期間では５月、６月の実績利水放流量は発電用に多く使われており、将来も同様の放流を行うと５月から貯水位が大きく低下する。６月中旬から８月中旬にかけて放流量（紫色の面）が断続的に０m^3/sとなっているが、これは実績利水放流量をダムから放流したいが貯水量が少ないことで利水目的の放流ができないことを表している。以上のように、豊平峡ダムでは利水放流が行えない致命的な状況となることがわかる。一方、定山渓ダムでは６月中旬から８月中旬に確保水位を下回ったものの利水放流が行えない日は出現しなかった。

なお、受益地の将来人口など水需要が将来どのようになるかは、ここでは考慮していない。あくまでも生活用水として必要となる水量変化、つまり供給側の状況だけに着目したものであることを付記しておく。

4.3　豊平川流域の水循環系への影響はどうなるか？

前節では水利用の観点から豊平川上流域のダム貯水量の試算結果を示したが、水循環系全体にどのような影響が及ぶかも見てみる必要がある。少し古い結果だが、筆者らが1996～2000 年の各種データに基づき流域全体の水循環の実態を示したのが**図 10** である[9)]。豊平川は定山渓ダム（流域面積 104 km^2）および豊平峡ダム（流域面積 134 km^2）からの放流に残流域（流域面積 312 km^2）から流出した水が加わり、白川浄水場と藻岩発電所で取水された後

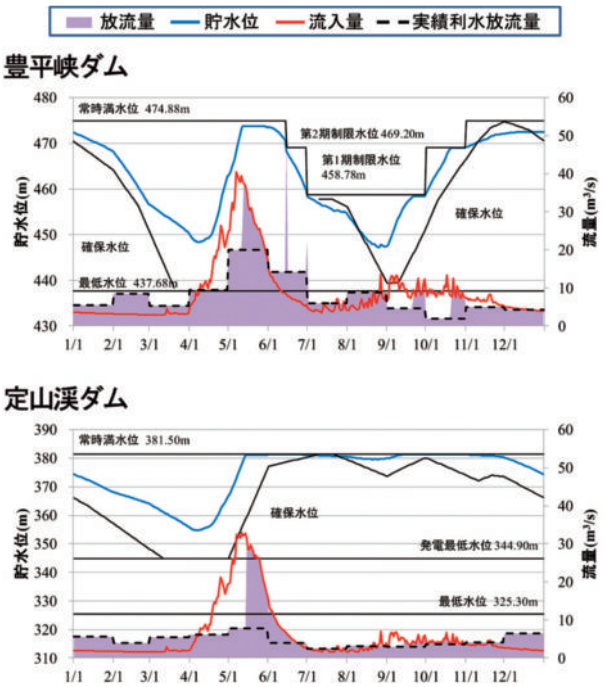


図８　現況期間（1981～2000）におけるダム運用による豊平峡ダムと定山渓ダムの貯水状況
（流入量（赤線）と放流量（紫色の面）から算出された貯水位（青線）の期間平均）

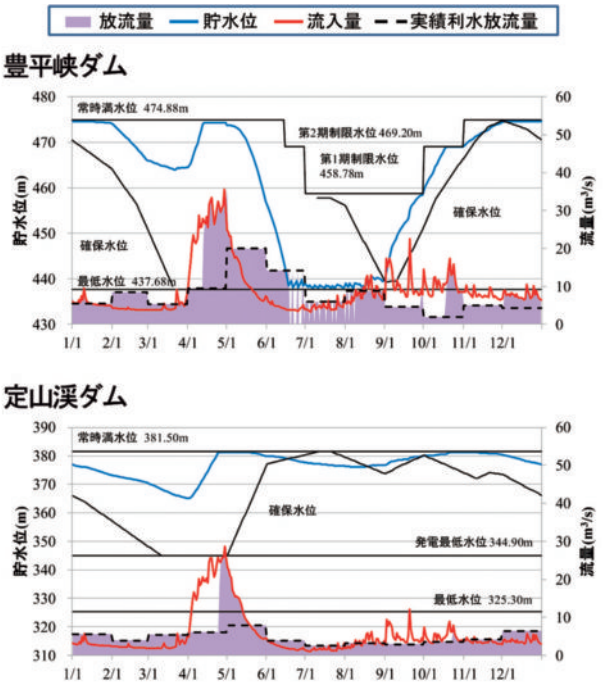


図９　将来期間（2081～2100）におけるダム個別運用による豊平峡ダムと定山渓ダムの貯水状況
（流入量（赤線）と放流量（紫色の面）から算出された貯水位（青線）の期間平均）



図 10　豊平川水系の水循環系模式図
（1996～2000 のデータに基づく）



写真 1　豊平川の水量の少ない日の流れ
（藻南橋下流部，札幌開発建設部より[10]）

石山地点（流域面積 550 km^2）に達する。図の見方であるが、石山地点の流量 1,094 千 m^3/day に白川浄水場での取水量 536 千 m^3/day と藻岩発電所での取水量 841 千 m^3/day を加えた 2,471 千 m^3/day が水利用の全くない場合の日平均流量となる。ここで、現実の水利用条件を考え、1 年の上から 355 番目の渇水流量を「水量の少ない厳しい条件での取水可能量」もしくは「生物の生息に厳しい環境」の評価指標として考える。（両ダムからの放流量）＋（両ダム流入量平均値を比流量配分した残流域流入量）で石山地点の流量を推算すると、平均流量が 2,376 千 m^3/day で実測値とほぼ変わらない値が得られるため、この考え方を用いて渇水流量を推算すると 613 千 m^3/day となる。これは、ダムの放流で水道取水量 536 千 m^3/day を辛うじて上回る状況にはあるが、**写真 1** に示すようなイメージのように取水後の下流河川の水量はかなり少なくなることがわかる。参考までにダムがない場合は渇水流量が 357 千 m^3/day という結果となり、札幌市民の水需要は賄えないことになる。

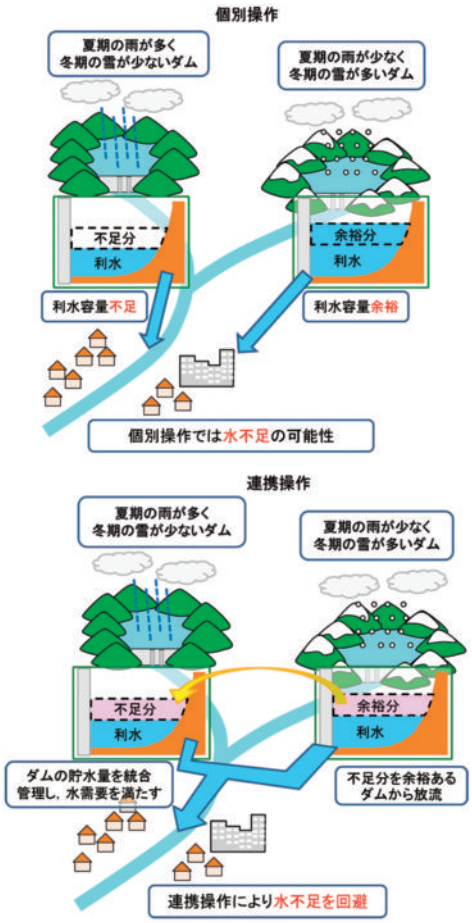


図 11　複数ダムの個別操作と連携操作のイメージ

現状の厳しい状況に追い打ちをかけるように地球温暖化による水文環境の変化が起きる。これが石狩川水系の河川流況に与える影響を試算すると、渇水流量がおおむね 100 年後の「将来期間」は「現況期間」に比べて 5 割減るとされる[6]。ただし、ダムは将来とも同様な機能を果たすと考え、残流域の渇水流量が 5 割減として石山地点の渇水流量を推算してみる。結果は 406 千 m^3/day となり、水需要が将来とも変わらないとすると、仮にダムがあっても不足が生じる結果となった。また、仮にぎりぎりまで取水できたとしても下流河川の水量が枯渇して河川生態系へダメージを与えることも考えられる。

5. 水資源の安定確保に向けて

4.2 節に示したように、地球温暖化によって水文環境が変化し、水供給を担うダムの貯水量が枯渇する可能性が推算された。このような問題をどのように回避すればよいのであろうか？幸い豊平川水系には 2 つの多目的ダムがあり、**図 11** に示すようなイメージで連携操作することで水不足を回避できないかが考えられる。

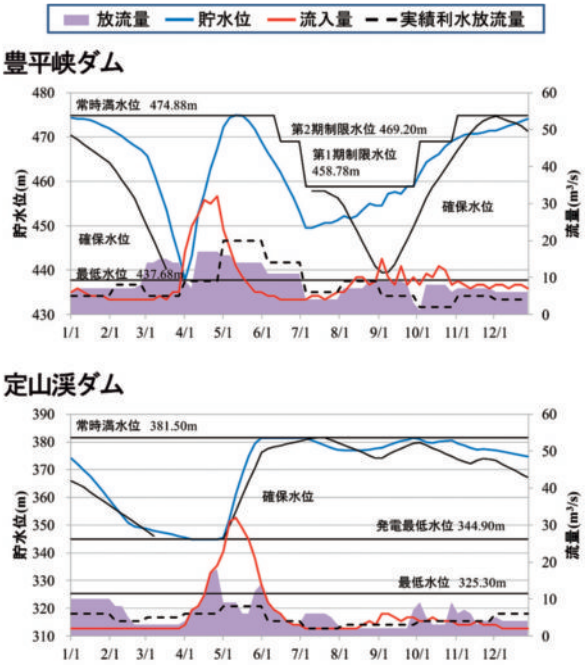


図 12　将来期間（2081～2100）におけるダム連携運用による豊平峡ダムと定山渓ダムの貯水状況
（流入量（赤線）と DP で計算された放流量（紫色の面）から算出された貯水位（青線）の期間平均）

そのことを定量的に評価するため、動的計画法（DP）という手法を豊平峡ダム・定山渓ダムの並列する 2 つのダムに適用し、一方の容量が不足する場合に他方が補給するというルールを組み込み、最適操作によって貯水容量の変化を推算してみた[11]。先に示した 4.2 節と同様な「将来期間」の条件を与え、豊平峡ダム、定山渓ダムの貯水容量（水位）を求めた結果を**図 12** に示す。個別操作で運用した結果と比較して、豊平峡ダムでは 5 月、6 月の利水放流量を減らすことで貯水位をなるべく高い状態に保持し、7 月から 9 月までの貯水位が大きく低下することはなく、所定の放流を行うことができている。また、豊平峡ダムからの放流が減る分は定山渓ダムからの放流を増やして補完しており、ダムの連携操作によって下流の水需要を満たしつつ、ダムの貯水量が不足するような状態を回避することが可能であることを示した。

ダムのような施設は（費用負担の問題もあり）単体で操作ルールが決められているケースが多いが、複数を組み合わせた水管理マネジメントが解決策の一つであろう。

6. おわりに

地球温暖化の影響が顕在化しつつある現実を考えると、今後猛威を振るう可能性のある自然への「適応」を、地域社会レベルの具体的施策として実現していく必要がある。そのためには熱や水という物性要因を考える段階から生活や産業といった社会要因への影響を扱う段階にきている。分野をまたがる知の共有が必要である。今回取り上げた水資源問題は北海道の基幹産業である農業に大きく影響するほか、生活、工業、発電、内水面漁業、河川生態系といった広範な影響が考えられる。先に指摘した too much water による災害への適応と合わせ、何が具体化できるかを提示すべきときに来ていると思われる。

謝辞：資料を提供していただいた北海道開発局の関係各位に謝意を表する。

参考文献

1）中津川誠，北海道で考えるべき地球温暖化への適応策～水災害リスクへの対応～，Docon Report，Vol. 198，2015.
2）文部科学省・気象庁・環境省・経済産業省（翻訳），IPCC 第 4 次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約，2007.
3）中央環境審議会，日本における気候変動による影響の評価に関する報告と今後の課題について（意見具申），pp.85-88，2015．3.
4）気象庁，地球温暖化予測情報第 6 巻，2005.
5）国土交通省水資源部，「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的な水資源管理のあり方について」研究会，気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメントについて（中間とりまとめ），2010.
6）国土交通省北海道開発局，石狩川流域における気候変動に適応した治水・利水対策検討会，石狩川流域における気候変化に適応した治水・利水対策のあり方について取りまとめ，2011．3.
7）川村一人，中津川誠，臼谷友秀，気候変動が積雪地域の水循環と水利用へ与える影響について，水工学論文集，54，pp.445-450，2010．2.
8）臼谷友秀，工藤啓介，中津川誠，石狩川流域における水循環の定量化について，水工学論文集，pp.49，229-234，2005．2.
9）濱原能成，中津川誠，豊平川流域を中心とした水循環の実態と評価，平成 14 年度土木学会北海道支部論文報告集，59，pp.912-915，2003.
10）国土交通省北海道開発局札幌開発建設部，石狩川水系豊平川河川整備計画，（http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/kasen/09kawazukuri/02seibikeikaku/07seibi-keikaku/toyohira_1.html　2015 年 9 月 30 日閲覧）
11）川村一人，中津川誠，杉原幸樹，気候変動による利水への影響を踏まえたダム貯水池群の最適操作に関する研究，土木学会論文集 B1（水工学），68，4，I_1477-I_1482，2012.