

論文の内容の要旨

論文題目 気候変動の適応策としてのダムの治水・利水容量の再配分に関する考察
一紀の川流域を例として
(Dam volume reallocation between flood control and water use as an
adapting policy under climate change in the Kino River Basin.)

氏 名 吉村耕平

気候変動はかねてより社会的関心が集まるところであるが、特にその影響が災害面、特に洪水などの水災害の形で現れればより一層の関心が集まる。気候変動に対してのアプローチとしては、温室効果ガスを削減するという緩和策に加えて、気候変動下で発生する様々な変化が人に及ぼす影響を軽減するために社会の側で対処をしていこうとする適応策がある。洪水などの水災害に対してはこの適応策の一環としての河川整備などを考えていく必要があるが、そのためにも気候変動下で洪水リスクや渇水リスクがどう変化をしていくのか、適応策としてどのような手法をとれば有用であるのかを定量的に評価することを求められている。本研究においては適応策のオプションとしてのダムの容量再配分に関する分析を行うこととした。

第1章では、日本の河川整備の歴史をまとめるとともに、これから向かい合わなければならない気候変動と人口減少という課題を整理した。気候変動により高まるリスクや増大するハザードに対して、人口減少下での財政的制約などにより、現状よりも小さな投資で対応しなければならない、という今後の河川整備の方向性を明らかにした。

このためには既存ストックの活用が重要な要素となってくるが、その既存ストックの活用に関するターゲットについて本研究では具体的に「多目的ダムの容量再配分」と定めた。研究の流れとしては、もし現状のままの容量配分と、容量を再配分した場合での気候変動下での洪水リスクや渇水リスクの変化を定量的に評価し、その有効性を評価することとした。

第2章では対象流域の紀の川の特徴を、流域の都市や土地利用、有史以来から近年までの河川整備の歴史、流域での治水・利水に関わる施設などの視点で整理を行った。他流域との利水のやりとりなどの複雑な水利用のシステムが構築されていること、伊勢湾台風などで大きな洪水被害を受けていることなどのこと、大規模な多目的ダムが存在することなどの観点から、治水と利水が不可分な関係があることを見いだした。このため本研究の目的としてふさわしい河川として採用した理由である。また河川整備のメニューの中で多目的ダムの容量再配分が現実的に採用可能であるプランであり、また研究の趣旨にも合致す

ることを把握した。

第 3 章では雨量などの気候データから、河川の流量を算出する流出モデルの構築を行った。本研究の趣旨からすると、治水と利水の両面での分析を同時に行うことが求められるが、その観点からは本研究室で開発された水文モデル・流出モデルである WEB-DHM (Water and Energy Budget based Distributed Hydrological Model) を利用することとした。このモデルは、分布型流出モデル GBHM に (Geomorphology Based Hydrological Model) に陸面過程モデル SiB2 (Simple Biosphere Model) を組み込んだものである。これにより洪水に対しての短期でのシミュレーションでも、利水の面での長期のシミュレーションでも同時に検証ができるという点で、本研究に適しているといえる。

流出モデルのキャリブレーションと検証を、1990 年から 2001 年までの間のレーダーアメダスなどを利用して行った。さらにこの結果を伊勢湾台風のデータでも検証を行い、再現性を確かめた。

第 4 章では、気候変動による洪水・渇水のリスクの評価について、IPCC の第 4 次報告書において指摘されている点の中で、本研究にかかわりの深い地域や事象を抽出した。さらに国内外の影響評価に関する先行研究や、日本政府などの適応策への取り組みの議論を整理し、本研究における課題をまとめた。

気候変動の影響評価については気候モデル (GCM) が有用であるとされ、そのアウトプットを水文モデルに入力し洪水や渇水のリスクを評価する研究は国内外ともに多い。しかし GCM はそれ自身に不確実性を持つため、一つの GCM だけではその不確実性に結論が左右されてしまう、という問題がある。利用する GCM が単一か少数にとどまる研究が多数見られるため、この点を改善する必要があるということを明らかにした。

また流域スケールでの影響評価を行うためのダウンスケーリング手法について既往の手法を整理し、統計的ダウンスケーリングが有用であることを明らかにした。

第 5 章では、利用する GCM の選別と、そのアウトプットを流出モデルに入力できるようにするためのバイアス補正・ダウンスケーリング手法について述べた。

まずマルチ GCM を利用した影響評価を行うにあたっては、その GCM の選定基準について明らかにする必要がある。

World Climate Research Programme (WCRP)による、CMIP3 (third phase of Coupled Model Intercomparison Project) で蓄積された GCM の中から、IPCC によるシナリオ A1B (高成長でかつバランスのとれたエネルギー源を利用) でシミュレーションが行われており、現在再現と 2050 年・2100 年において、なおかつ流出モデルの入力に必要な要素を出力している 11 モデルを選択した。

次に再現性の評価であるが、現在再現のアウトプットに関して観測データなどへの再現

性の高いものを選別することとした。ただし GCM はある初期条件を与えてシミュレーションを行うものであるため、実際に起きた過去の気象や現象を再現するものではない。このため、現実の気候をどのように再現できているのか、という観点で評価を行った。

まずは、広域の気候の再現であるが、東アジアモンスーンでという広域場での降雨や気圧などの再現性を山本の手法によって確認し、選択した GCM が良好な再現性を有していることを確認した。

その上で、流域における再現性を評価する。特に流出解析においては雨量が重要であるため、雨量の観測データに対しての再現性評価を統計的観点から行った。月ごとの降水量や強雨の頻度などの分布を観測と GCM とで比較をして、その再現性を評価し、うち 10 モデルが良好な再現性を有していることを確認した。

年総雨量はある程度は再現性があるが、洪水に影響が大きい年最大日雨量は GCM と各観測点では相違が大きいため、バイアス補正を行う必要がある。また流域は GCM では 1 グリッドに収まっているが、上流部に降雨が集中することなど、流域内での変化が大きい。このため、観測点ごとにバイアス補正を行うこととし、空間的ダウンスケーリングに相当する処理を行った。

バイアス補正の手順は、強雨に対してはクオンタイルマッピング法、それ以外の降雨に対しては順位統計の手法を利用し、強雨や年総雨量、降雨日数などを矛盾なく観測に合致させることができた。季節性の再現が良好、つまり降雨量や強雨の頻度の季節分布が GCM と観測とで共通性が高かった中下流部は通年で一群として補正を行い、台風期に強雨が集中する上流部では、台風期と前線性降雨の時期とそれ以外の 3 つのグループに分けて補正を行った。

GCM のアウトプットは日データであるが、流出モデルのタイムステップは時間単位であるため、時間的ダウンスケーリングを行う必要がある。観測データの統計的特徴に基づいて AR 過程を利用し、バイアス補正された日雨量から時間雨量を生成した。

なお洪水リスクにもっとも関わりの深い上流部では、伊勢湾台風の降雨パターンの引き延ばしを行った。

第 6 章ではまず補正された雨量を検証し、流出解析を行って流量の変化を検証した

補正後の雨量に関しては、現在再現に比べて将来予測では総雨量ならびに最大日雨量の増大が明らかになった。

洪水頻度の増大も明らかであるが、洪水ピークでの確率流量の変化を検証したが、将来でのピークの伸びが強く示された。低水流量は増大することが分かった。

以上のことから、利水面では若干緩和されるものの、洪水のリスクに関しては、頻度と規模とともに増大することが示唆された。

洪水リスクの増大に対して既存ストックを活用して対応するにあたっては、多目的ダム

において利水容量から洪水制御容量への再配分を行うことが選択肢として考えられる。本研究の核である第 7 章では、具体的に多目的ダムを想定して、その貯水量の変化をシミュレーションした。その上でダム容量再配分を行った場合の、渇水リスクの変化と、洪水リスクの軽減に関して定量的に評価を行った。それに基づき、気候変動下での適応策としての容量再配分の有効性や実現性を検討した。

まずはダムなしでの現在再現と将来予測においての渇水リスクと洪水リスクを評価し、次に同様に現状の容量でのリスクを評価した。第 6 章と同様に洪水リスクの増大が現れたが、現状の洪水制御容量では超過洪水の可能性があることが示された。対して利水面ではダムなしでは結果が分かれたが、ダムがある場合では渇水リスクの減少が共通することが明らかになった。

次に容量再配分後の洪水リスクの軽減に関しての分析を行った。現状の洪水制御容量に比べて再配分によって洪水制御容量を増大させた場合には、いくつかのパターンではゼロカット操作による超過洪水の発生を回避できることが分かった。またゼロカット操作に追い込まれたとしても、それを数時間遅らせることができるが、すなわち避難時間をその分稼げたということにもなり人命を守ることができるのではないかということが示唆された。また洪水のピークでのゼロカット操作からピークが下がってからのゼロカット操作に持ちこたえることができるため、河道のピーク流量を大きく低下させることができ、被害を軽減できる可能性があることを示した。

その上で、容量再配分後の渇水リスクがどうなるのかということの評価した。現状での渇水リスクに対して、容量配分はそのままであれば渇水リスクは改善されるか、もしそうであれば再配分によって渇水リスクが悪化しないかということを検証することが求められる。検証の結果、現状の利水容量では渇水リスクが緩和され、さらに半数以上の GCM では現状の渇水リスクよりも再配分後の渇水リスクが下回った。これは利水面での弊害なしに洪水リスクを軽減できる可能性があるということを示している。また再配分によって渇水リスクが現状より悪化したとしても、渇水リスクが変化しない範囲での再配分に留めることも可能であるし、洪水リスク軽減に注力し渇水リスクに関しては別のオプションで補完することも可能である。以上のことを考えると利水から洪水制御容量への再配分は、そのメリットに対してデメリットが回避可能であるか限定的であるため有用である、と評価を行うことができた。

第 8 章では本研究を総括した。本研究の成果としては、具体的な河川での適応策の評価を行うために、マルチ GCM による流域スケールでの影響評価を行ったことを述べた。さらに適応策としてのダム容量再配分が有用であるという結論を整理した。

その上で今後高解像度の GCM のアウトプットが出てきたとしても本研究の意義は失われないことを述べ、他流域や他地域への展開についての展望を示した。