

石狩川下流域における支川群の洪水流出特性と 本川洪水への影響

CHARACTERISTICS OF TRIBUTARY FLOODS IN THE LOWER ISHIKARI RIVER BASIN AND EFFECTS OF TRIBUTARY FLOODS ON THE MAIN RIVER FLOODS

石井優太朗¹・吉村俊彦²・福岡捷二³

Yutaro ISHII, Toshihiko YOSHIMURA and Shoji FUKUOKA

¹学生会員 中央大学大学院 理工学部研究科 都市人間環境学専攻 博士前期課程
(〒112-8551 東京都文京区春日一丁目13-27)

²国土交通省北海道開発局 建設部
(〒060-8511 北海道札幌市北区北8条西2丁目)

³フェロー Ph.D. 工博 中央大学研究開発機構 機構教授
(〒112-8551 東京都文京区春日一丁目13-27)

近年の水害の頻発化、激甚化に対し、河川流域の関係者の協働により水害を軽減させる、流域治水の実践が求められている。有効な流域治水対策を行うためには、本川流域だけでなく、各支川流域においてもその流域特性を調べたうえで、本・支川一体の洪水解析による個別流域及びそれらが統合化された流域における洪水流下形態を検討し、河道及び流域での対策の検討ツールを構築することが重要である。本研究では、平成28年8月北海道豪雨を対象に本・支川一体の洪水流解析を行い、河川流域の洪水流の貯留量分布を把握する。そして流域治水対策のための本・支川各スケールでの流域内貯留に適した空間を見出すツールとなる水収支分布図を提案し、考察する。最後に流域治水計画における対象流域の水収支分布が持つ意義を論じている。

Key Words: *Ishikari River, tributaries runoff, integration analysis of river basin, temporary change of water surface profiles, discharge hydrograph*

1. 序論

近年の水害の頻発化、激甚化に対応するため、河川流域の関係者の協働により、水害の軽減を目指した流域治水の実践が求められている。流域治水は、本川だけでなく、各支川流域における洪水形成過程を推定出来ることが重要であり、このためには、本・支川の洪水を一体的に解析し、各支川流域とそれらを統合化した流域全体の洪水流下形態について検討しなければならない。本・支川を一体的に取り扱うこれまでの解析法には、水文学的な降雨流出解析と水理学的な河道洪水流解析との二つの流れがあり、どのような目的で検討されるかによって多様なアプローチが取られて来た。

前者については、降雨の流出機構を概念的に表現し、流出量を推定する貯留関数法¹⁾やタンクモデル²⁾、降雨分布や細かい地形地質特性を考慮したうえで流出量を推定する分布型モデル³⁾といった、モデルを用いることで洪水流量を推定し、治水計画等に用いられてきた。

一方、後者については、福岡⁴⁾は上流端境界条件に洪

水位ハイドログラフを与えることで、洪水水面形の時間変化の実測値を解析で説明することにより、河道の任意地点における流量ハイドログラフを求める方法を提案し、洪水形成過程、河道貯留量について考察している。その一例として、平成27年9月鬼怒川洪水について詳細な水面形の観測値を用いた解析を行うことで、流域、ダム、河道、氾濫域での洪水流の貯留量の時空間分布を求め、流域の水収支量という形で鬼怒川の洪水流出過程を説明し、流域治水の新しい方向性を提示している⁵⁾。

流域治水の検討で重要なことは、本・支川の洪水流を一体的に解析し、本・支川の特徴を考慮して流域の安全性に資する洪水流の貯留空間を技術的に見出すことである。見上ら⁶⁾は、利根川上流域の1次支川および本川を一体とし、2次支川からの流出ハイドログラフはタンクモデルを用いて求め、これを1次支川に合流させることにより、1次支川および本川の洪水流解析を行い、洪水水面形の時間変化を再現し、1次支川、2次支川群からの流出量が本川の洪水流に与える影響を定量的に評価し、流域治水の新しい検討方法を提示している。

本研究では、石狩川流域の本・支川洪水流の一体解析



図-1 石狩川下流域流域図

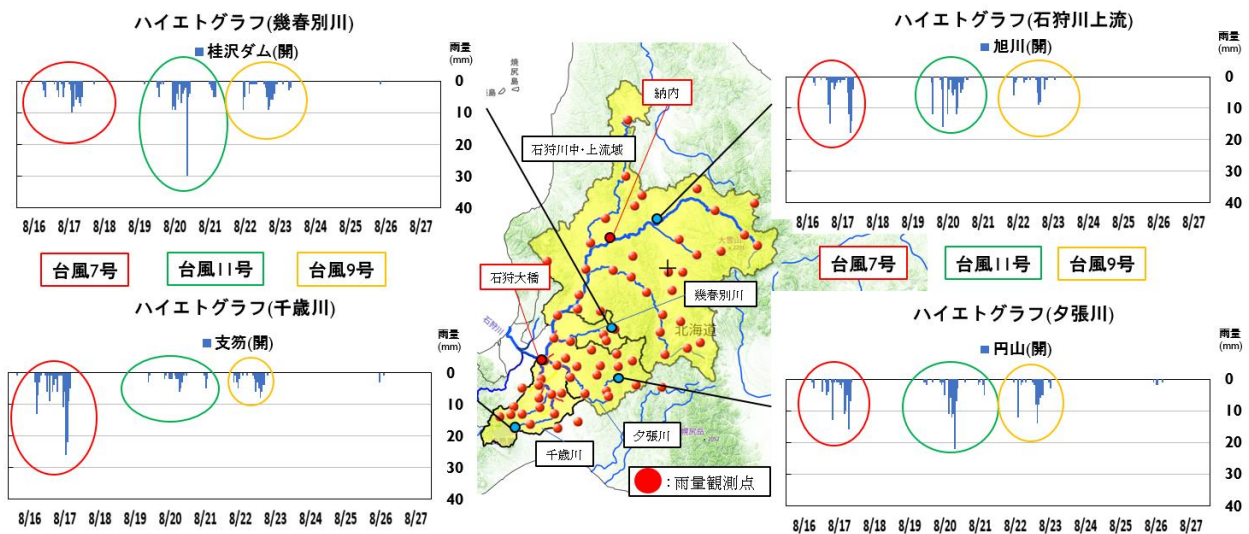


図-2 石狩川流域図と降雨ハイトグラフ

により流域全体、各支川流域における水収支分布を求めている。具体的には、図-1に示す石狩川下流域を対象とし、1次支川及びデータの存在する2次支川を含め、上流端境界条件として洪水位ハイドログラフを与えた本・支川一体での洪水流解析を行い、各河川の水面形の時間変化を求めている。洪水流解析を行うために十分なデータのない一部の2次支川流域では、貯留関数法²⁾を用い流出量を推算し、これを1次支川に流入させることで、1次支川および本川の洪水水面形を検討している。これらの解析結果に基づき、1次支川である幾春別川流域、夕張川流域、千歳川流域の3洪水流出特性を調べ、1次支川群からの流出により石狩川本川の洪水がどのように変形し、形成されたのかについて明らかにし、そして支川群の水収支分布及び本川の水収支分布から、流域内貯留に適した空間を見出す流域治水対策の技術的検討方法を述べている。

2. 検討流域、対象降雨の特性、洪水位の特徴

(1) 対象流域

石狩川は、広大な流域面積を持ち、多数の支川が流入している。特に下流域の石狩大橋(25km)から岩見沢大橋(45km)の区間は、低平地であり石狩川洪水の背水を受ける1次支川、幾春別川、夕張川、千歳川が合流する。また、それぞれの1次支川には、図-1の流域図が示すように、流域面積の大きい2次支川が複数合流している。特に、千歳川流域では、合計7つの2次支川が流入している。これら支川流域の降雨の状況と石狩川中・上流域での降雨の状況により、石狩川下流河川の洪水ハイドログラフは大きく変化する。

(2) 対象降雨の特性

図-2では、降雨量を求める際に用いた雨量観測所計83地点を流域図内に示しており、この中から、各河川で主

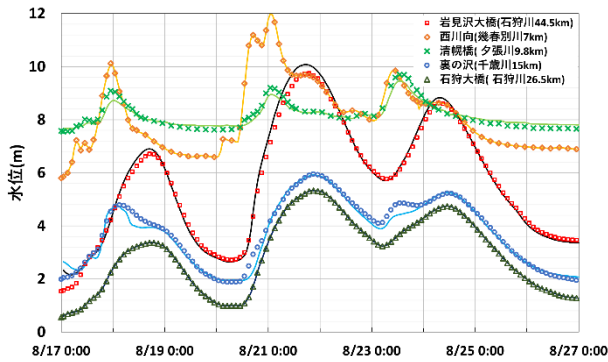


図-3 石狩川本川と1次支川群の水位ハイドログラフ

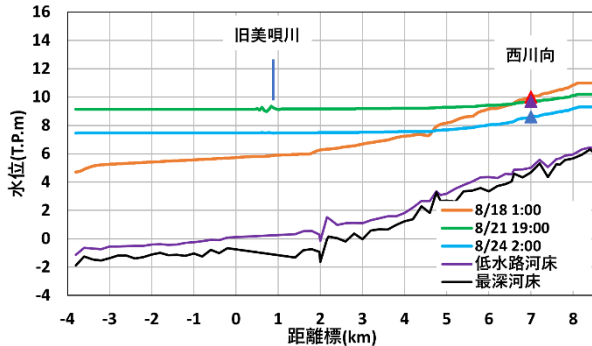


図-4 3つの台風による幾春別川ピーク時の水面形

要となる観測地点の降雨ハイトグラフを示す。平成28年8月北海道豪雨では、8月17日～23日の1週間の中に、台風7号、11号、9号が北海道に上陸し、石狩川流域に大きな被害をもたらした。また、3個の台風の進路はそれぞれ異なっており、図-2の各流域の主要地点でのハイトグラフは、本川上流域、各1次支川流域で異なる。具体的には、一回目の赤で囲って示す台風7号では、千歳川流域を中心に時間雨量20mmを超える降雨が生じている。それに対し、緑で示す二回目の台風11号では、幾春別川や夕張川を中心として20mm～30mmの降雨が生じており、黄色で示す三回目の台風9号では、夕張川や石狩川上流域を中心として15mm程度の降雨が生じている。また、すべての降雨において石狩川上流域よりも3支川群での降雨が早く生じており、本川と支川群でピークがずれている。本研究では、時空間的に降雨分布が異なり、さらに長期間に及んだ本豪雨を対象に解析を行った。

(3) 本川と支川の水位ハイドログラフ

図-3に、石狩川本川とその1次支川である幾春別川、夕張川、千歳川の観測と解析による水位ハイドログラフを示す。前節で示したように、支川群では、本川上流域よりも先に降雨が発生している。したがって、流出も早く、黄色、緑、青でそれぞれ示す幾春別川、夕張川、千歳川の水位の立ち上がりは、赤で示す石狩川の岩見沢大橋での水位上昇より早く生じている。これにより、本川の水位ハイドログラフが変形し、紫で示す下流の石狩大橋では、波形の先鋭さが減じ、洪水継続時間が長引いていることが分かる。

表-1 解析条件

河川名	境界条件	粗度係数		河川名	境界条件	粗度係数
		低水路	高水敷			
石狩川	月形(58km) 石狩大橋(26.6km)	0.017	0.045	旧美唄川	第一旧美唄橋(4km)	0.035
幾春別川	西川向(7km)	0.033	0.04	幌向川	豊幌(3.4km)	0.035
夕張川	由仁(22.1km)	0.027	0.045	峻淵川	峻淵(7.2km)	0.035
千歳川	西腰(40.5km)	0.022	0.045	漁川	日の出橋(11.4km)	0.035
				島松川	下島松(5.7km)	0.035

3. 解析方法

(1) 本川、1次支川の流量ハイドログラフの解析手法

本研究では、平面二次元解析での解析水面形を、観測水面形の時間変化にできるだけ一致させることにより、断面内の流速分布を求め、それをを用いて任意の断面での流量ハイドログラフを求めている。これにより、1次支川や本川の流入・流出量が定まり、各流域の水収支分布が求められる。河道縦横断面形については、洪水前のH22～H26における横断測量データを基に作成した。洪水流解析は、図-1に赤色で示した区間において、石狩川にて4か所、幾春別川にて1か所、夕張川にて2か所、千歳川にて5か所の水位観測所と、石狩川45km～58km区間に9点存在する危機管理水位計データを基に行った。解析区間や粗度係数については、表-1に示す。

(2) 2次支川の流量ハイドログラフの評価方法

2次支川に関しても、本川、1次支川と同様観測水位に対し、河道データと、水位データを用いて水面形、流量を解析することが望ましい。ここでは、図-1で示す赤色の2次支川、旧美唄川、幌向川、峻淵川、漁川、島松川は、河道データと各河川1か所に設置されている水位計の観測データに基づいて、1次支川の影響も反映できる洪水流解析を実施した。しかし、黄色で示す2次支川は、水位計が設置されていないことや河道データが入手できなかったことから、流出量を石狩川で設定された係数⁸⁾を用いて、星ら²⁾による貯留関数法により流出量ハイドログラフを推定し、これを1次支川との合流部に横流入として与えた。降雨量は、計26地点の雨量観測所のデータを基に推定している。

4. 1次支川流域における洪水流出特性

(1) 幾春別川流域

幾春別川の1km地点では、2次支川旧美唄川が合流する。図-4は幾春別川の3つの台風のピーク時の解析水面形を示しており、洪水時には石狩川の背水の影響を大きく受けていることが分かる。特に緑で示す8月21日19時では、水位は6km付近まで高い状態を保つ。これは石狩川の水位が高い状態を維持することで、石狩川から幾春

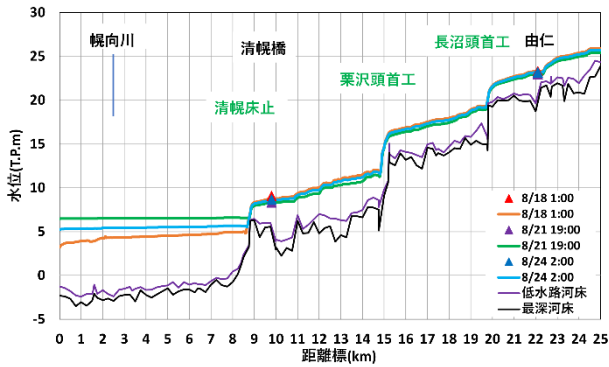


図-5 3つの台風による夕張川ピーク時の水面形

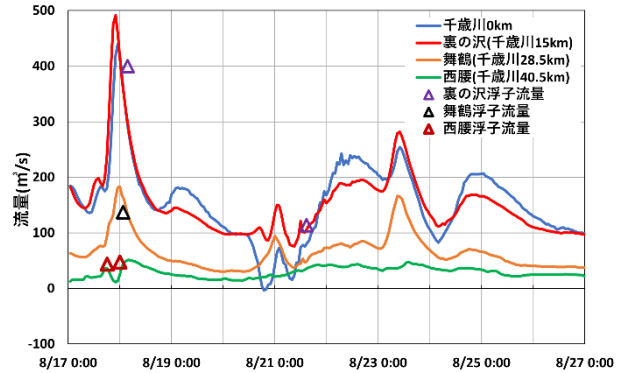


図-7 3つの台風による千歳川流量ハイドログラフ

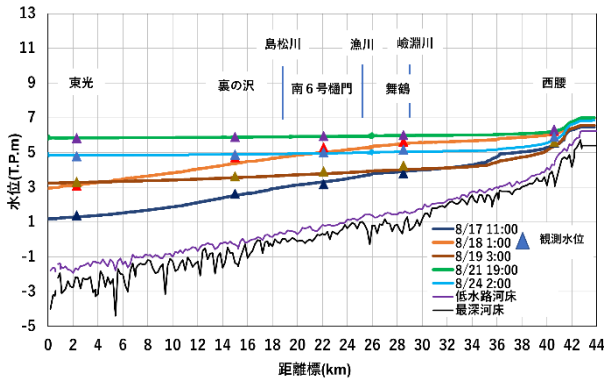


図-6 3つの台風による千歳川水面形の時間変化

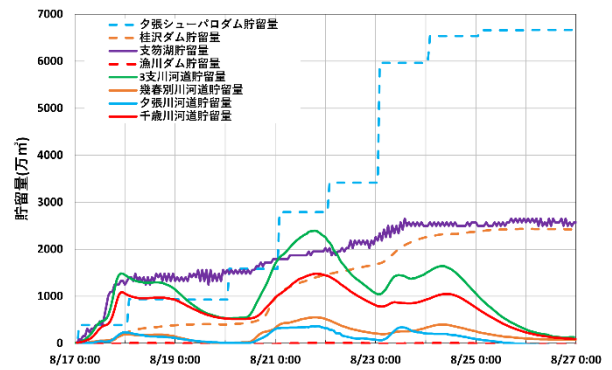


図-8 3支川のダム・湖・河道での貯留量の時間変化

別川へ洪水が流入していることを示している。また、この影響は、2次支川である旧美唄川にも及んでいる。

(2) 夕張川流域

夕張川では、8.5km地点において、三段からなる清幌床止が設置されており、床止めの天端と下流河床高の差が6mに及ぶ。図-5の夕張川のピーク時の解析水面形が示すように、石狩川からの背水の影響は3つの台風全てにおいて清幌床止で止まっている。

(3) 千歳川流域

2. の降雨特性で説明したように、千歳川流域では、降雨量は一回目の台風7号が一番多い。この際の千歳川での洪水流のピークは、図-6のオレンジで示す8月18日1時に発生しており、千歳川の水面形には石狩川の背水の影響は小さいことが分かる。また、藍色で示す洪水初期の水面形から、オレンジで示すピークの水面形へと水位が上昇し、茶色で示す洪水減水期へと水位が下がる。二回目の台風11号では、石狩川上流域の雨量が多かったことから、本川の水位が高くなっており、緑で示す8月21日19時ピークの水面形は、石狩川による背水の影響が千歳川40km付近まで及んでいる。また、三回目の台風9号をうけた青で示す8月24日2時の水面形も同様に、背水が35km付近まで及んでおり、千歳川の水位は、石狩川の水位に強く依存していることが分かる。

図-6に示す解水面形の時間変化から求めた千歳川の各地点における流量ハイドログラフと、その地点において

浮子によって観測された流量の関係を図-7は示す。千歳川が降雨の中心だった8月18日には、背水の影響が小さかったことから千歳川の流量が多く、ピーク時には赤で示す裏の沢において491m³/sとなっている。これは、緑で示す上流端である西腰での一回目でのピーク流量49m³/sと比較すると非常に多くなっており、この区間に流入する2次支川により千歳川の流量の増大が起こっていることを示す。

ただ、二回目、三回目の洪水では、前述したように本川の背水を強く受けている。このため、千歳川の流量ハイドログラフの形成過程は一回目の洪水とは異なり、まず、石狩川の水位が上昇することにより、石狩川の洪水の一部が千歳川に徐々に流入する。特に、石狩川の水位が急激に上昇した8月20日19時では、青線で示す千歳川から石狩川への流出量は、ゼロに近くなっている。その後、石狩川本川の水位変化と千歳川流域での降雨量の変化により、図-7で示すように流量は大きく変動している。

(4) 3支川群の河道における貯留量の時間変化

図-8は3つの1次支川に存在する国土交通省直轄3ダムでの貯留量、千歳川上流端に位置する支笏湖での貯留量、3支川の河道貯留量の時間変化を示す。各ダムでの貯留量の時間変化は、ダムにおける実績の放流量とダム水位変化から求めた流入量の差から求めており、支笏湖での貯留量の時間変化は支笏湖水位変動分と水表面積との積から求めている。また、河道貯留量Sは、各河川の解析上流端での流量と、2次支川からの流入量を足した河道

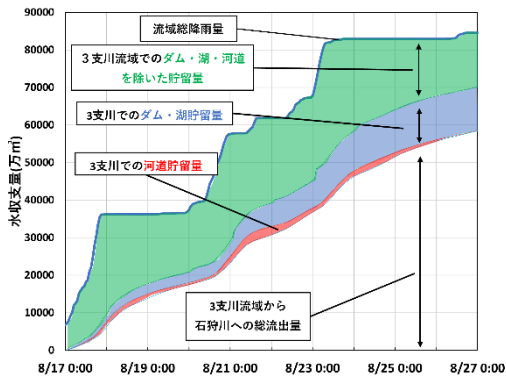


図-9 3支川群を統合化した流域の水収支分布図

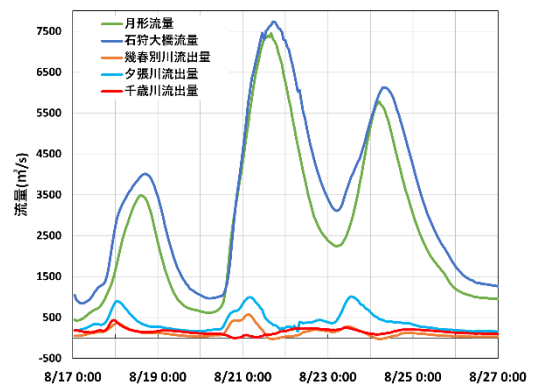


図-11 石狩川下流域流量ハイドログラフ

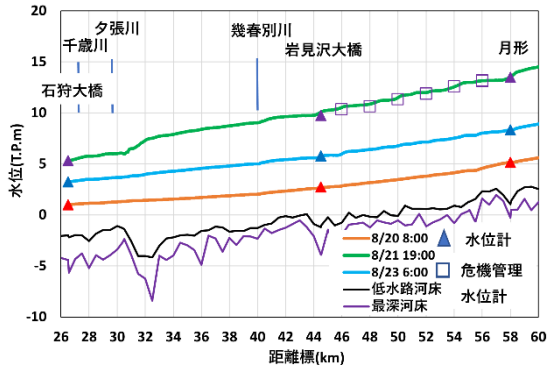


図-10 3つの台風による石狩川ピーク時の水面形

流入量 Q_{in} に対して、石狩川洪水の解析水面形の時間変化より各時間の河道貯留率 dS/dt を求め、時間積分することより求めている。夕張川では、清幌床止により背水区間が短いのにに対し、幾春別川、千歳川では、本川である石狩川からの背水の影響が上流に及び、河道貯留が増大する。特に千歳川では、図-6に示すように8月19日(二回目の洪水)から8月24日(三回目の洪水)まで、石狩川との合流点(0km)からの背水の影響を強く受けており、その影響範囲は舞鶴(28km)や西腰(41km)まで及んでいる。これは図-8では、赤の実線で示す千歳川での大きな河道貯留として表現されており、8月21日にはピーク貯留量1500万 m^3 が河道貯留されている。この量は、オレンジの破線で示す同時刻での幾春別川桂沢ダムでの貯留量とほぼ同量であることが確認できる。

図-9は、3支川流域での降雨量、流域、ダム・湖、河道で貯留されている水量がどのように時間分布しているかを示す水収支分布図である。総降雨量は、3支川流域に存在する雨量観測所計46地点でのデータに基づき、洪水期間に降った全ての雨量を用いて求めている。3支川流域での総降雨量は8.4億 m^3 となる。そこから、各ダムや支笏湖への流入量は7億 m^3 へ減少する。3支川における河道貯留量はダムや支笏湖の貯留量に比して小さいものの相当量あり、8月27日までに3支川群より5.8億 m^3 が石狩川へ流出しており、これは総降雨量の70%である。この間、ダム・湖では、1.2億 m^3 を貯留しており、これは、8月23日からの台風9号による総降雨量1.5億 m^3 とほぼ同等の水量を貯留させることで本川への流出を抑制し

ていることが分かる。

8月21日19時では、河道貯留量が累積で2500万 m^3 となり、この量は図-8において、オレンジの破線で示す幾春別川上流の桂沢ダムや、紫で示す支笏湖における本解析期間での最終的な貯留量とほぼ同量である。また、図-9より、それまでの総降雨量6.2億 m^3 の4%に及んでいる。このように、3支川流域の水収支分布図が示すように、3台風による洪水流は、各地点での貯留により石狩川への流出割合を著しく低下させ流下している。

5. 本川の洪水流形成過程

4. で示した支川群での洪水流出特性を基に、本川の洪水流出量がどのように変化するかについて分析する。図-10の3つの台風による石狩川水面形のピークの時間変化をみると、緑で示す8月21日19時では、夕張川の影響が大きく現れていることが分かる。このことは、図-11で示す石狩川と各支川からの解析流量ハイドログラフからも、青で示す夕張川のピークで856 m^3/s と大きな流量が発生していることからわかる。また、これら1次支川からの流入の影響は、青で示す本川下流の石狩大橋の流量ハイドログラフの波形が、緑で示す上流の月形での流量ハイドログラフの波形と比べ変形していることから明らかである。

図-9で示した3支川群流域での水収支分布図と同様、石狩大橋より上流における石狩川の水収支分布図を図-13に示す。総降雨量は、月形より上流の石狩川流域と、解析を行った3支川流域に存在する雨量観測所計83地点でのデータに基づき求めている。ダム・湖貯留量は、図-12で示す本解析流域に存在する3つの国土交通省直轄ダム夕張シューパロダム、桂沢ダム、漁川ダムと、千歳川上流端である支笏湖の貯留量であり、その他のダム・遊水地等での貯留量は資料がないため本解析では緑で示す流域での貯留量に含めている。石狩川への流入量は、月形での解析流量ハイドログラフと、3支川群から石狩川へ流出した流量ハイドログラフの合計である。この流入量を用いて水面形の実測値に合うように求めた石狩川

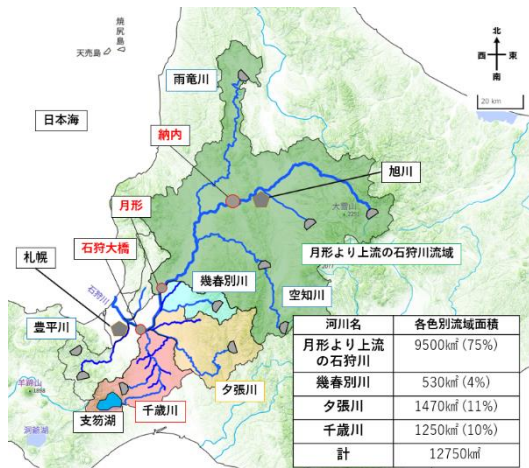


図-12 石狩川流域図

の解析水面形の時間変化から石狩大橋での流量ハイドログラフを求め、両者の差を時間積分することで、赤で示す石狩川での河道貯留量を求めている。ここから、総降雨量は37億m³となる。そのうち、石狩大橋を流下した総量は29.6億m³となっており、総降雨量の80%が本解析期間において石狩大橋を流下したことが分かる。

本研究では、一部の2次支川において、貯留関数法²⁾を用い、流出量を推定している。各2次支川までの水位観測を行い、水面形の時間変化を求めることが可能になれば、本川、各1次支川、各2次支川の河道貯留量が解析でき、それらすべての河川の流出を統合化することにより、各スケールにおいて精度の高い水収支分布図を作ることができる。そして、このような水収支分布の分析と、各河川の地形・地質、土地利用状況、人々の住まい方等の地域特性の考慮により、地域との協働で水を貯めるに適した空間を見出し、対策を検討することが望まれる。

6. 結論

本研究では、発生した3個の台風について石狩川下流域を対象とし、1次支川、本川に関しては洪水水面形の時間変化を用いた洪水流解析を行い、洪水水面形を再現した。また、これを基に石狩川下流域の水収支分布図を作ることにより、1次支川からの洪水流出特性と、本川における洪水形成過程を分析した。本洪水解析においては特に本・支川の河道貯留量を高精度に求めることに力を注いでいる。そのため、支川における流量形成機構や、支川群からの流出量が本川の流量形成にどのようなかかわっているかを明らかにしており、各河川における河道貯留量や、ダム・湖における貯留量、さらには流域での流域貯留量等を求めることで、流域治水対策へつながることとなる。また、流域水収支分布図は、1次支川流域、支川を統合化した支川群流域、さらには本川流域と、多層的に作成することで、それぞれの流域がどのような流

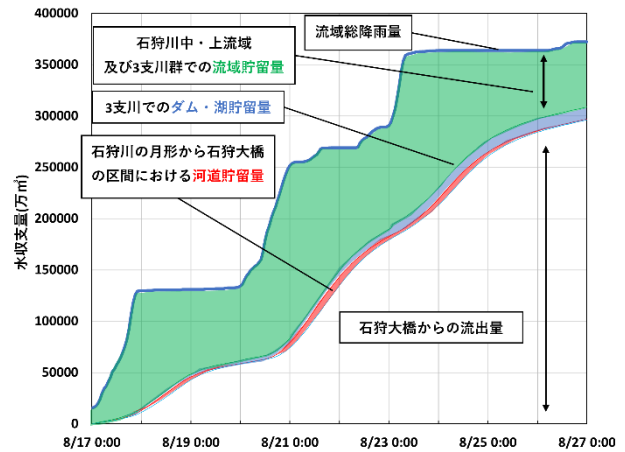


図-13 石狩大橋より上流での石狩川の流域水収支分布図

出特性を持っているかが明らかになるとともに、流域内で水を貯める有効な空間を見出すツールとなる。

しかし、本研究では、流域内降雨偏りの検討が不十分であることから、今後分布型モデル等他の貯留量算出法と比較検討し、本解析法の信頼度を上げて行くことが課題である。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、石狩川水系の北海道管理河川のデータを準備していただいた北海道庁建設部河川砂防課に謝意を表します。

参考文献

- 1) 木村俊晃：貯留関数法による洪水流出追跡法，土木研究所，1961
- 2) 星清，山岡勲：雨水流法と貯留関数法との相互関係，水工学講演会論文集，26巻，pp.273-278,1982
- 3) 後藤岳久，福岡捷二，大作和弘：観測水面形時系列から求めた本・支川の流量ハイドログラフを用いたタンクモデルの同定定数と洪水予測計算，土木学会論文集 B1(水工学) Vol.75, No.2, I_1291-I_1296, 2019.
- 4) 立川康人，永谷言，寶馨：飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発，水工学論文集，第48巻，pp.7-12, 2004.
- 5) 福岡捷二，渡邊明英，原俊彦，秋山正人：水面形の時間変化と非定常平面二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算，土木学会論文集，No.761/II-67, pp.45-56, 2004.
- 6) 福岡捷二：洪水水面形観測情報の広域的・統合的活用による流域治水の考え方の構築に向けて，河川技術論文集，23巻，pp.251-256, 2017
- 7) 見上哲章，水草浩一，西澤洋行，安達考実，福岡捷二：利根川上流域の本・支川を一体とした洪水流解析ー流域治水への活用に向けてー，土木学会論文集 B1, Vol.77, No.2, pp.1_427-I_432, 2021
- 8) 国土交通省：「実時間洪水予測システム理論」解説書，(財)北海道河川防災研究センター，pp.7-8, 2004

(2022. 3. 25受付)