

札幌市における中小河川の歴史とその変遷

Historical Transition of Development in Small and Medium Size River in Sapporo

北海道大学工学部環境社会工学系国土政策学コース
 北海道大学大学院工学研究科教授
 北海道大学大学院工学研究科准教授
 北海道大学大学院工学研究科

学生員 田中 甫幸 (Tanaka Toshiyuki)
 正 員 清水 康行 (Simizu Yasuyuki)
 正 員 木村 一郎 (Kimura Ichiro)
 学生員 岩崎 理樹 (Iwasaki Toshiki)

1. はじめに

1.1 背景

札幌が明治4年に開拓使を置いてから札幌における歴史が始まったとすると、140年あまりの月日がたった。この140年あまりの間に札幌は大きく変わった。以前は何も無い原野だけが広がっていたが、今では人口190万人を誇る大都会になった。

入植したところの札幌は湿地や泥炭地が多く、また石狩川や豊平川の洪水に悩まされていた。しかし、徐々にそのような土地も開拓された。その開拓を可能にしたのは治水事業であり、この140年あまりの月日の中でさまざまな治水事業が行なわれた。

しかしながら近年、以前と比べて水害も減り、治水安全度が向上したためか治水事業の効果を実感することが少なくなった。

1.2 研究目的とその手法

過去の氾濫域と治水事業後の氾濫域を比較することでその事業の効果を評価する。そのためには、入植する以前の洪水がいかなるものであったのかということについてまず知る必要がある。本研究の第一段階として、入植する以前の洪水氾濫域について検証した。その検証に当たっては、以下の手法を用い、自然河川において札幌の氾濫の再現を行い、比較し検討する。史的調査に基づく再現手法：実際に起った洪水の資料を収集、分析するこ

とによって、その当時の洪水を再現する手法。数値計算に基づく再現手法：史的調査が与えない流速や水深、氾濫速度などの情報を得るための手法。

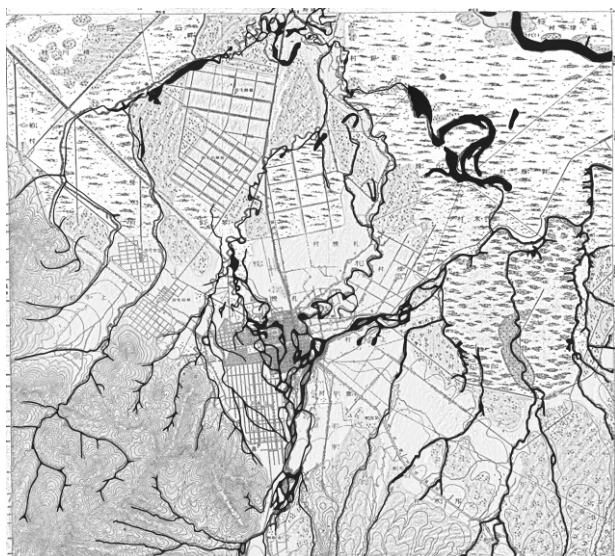
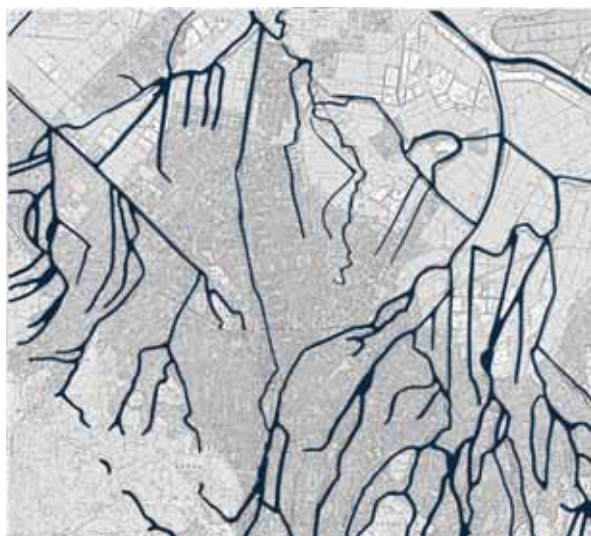
また、今回その再現を行なう場所として札幌を選んだ理由としては、140年という短い期間で急激な発展を遂げたという世界的に稀に見る特異性がある。また開発により入植する以前の河川と現在の河川では大きく変貌したことに加え、その短い発展の間で、自然状態の時の資料や開発にまつわる資料が他の地域と比べて残っているという利点があるためである。

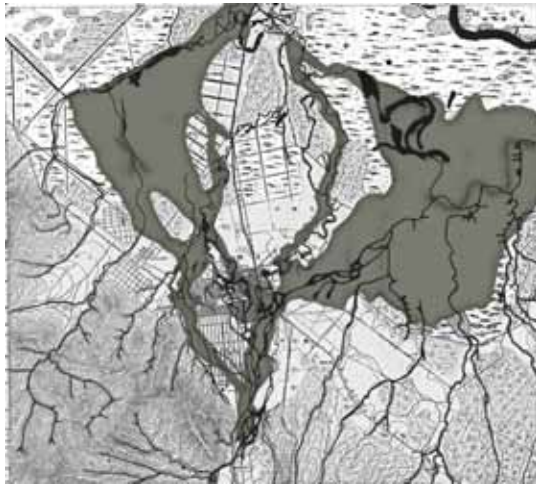
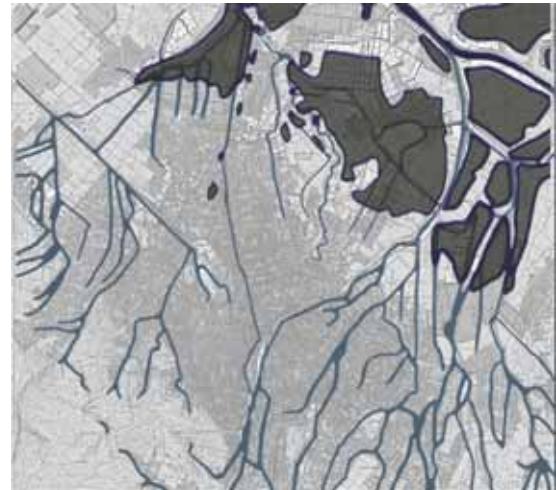
2. 史的調査による札幌の自然状態の河道とその氾濫の再現

2.1 札幌の自然状態における河川形状

まず始めに入植する以前の札幌の河川形状の検証を行なった。文献^{1),2),3)}を用いて、当時の河川形状を推測したものを図-1に示す。入植する以前の札幌の河川の形状を図-2に示す。図-1を比較すると図-2その形状が大きくかわったことが確認できる。

豊平川に関しては、扇状地上では網状状態となっており、分流や合流を繰り返していた。かつて、この部分はアイヌ語でパラピウカといい、広き川原という意味であった。それから分かるようにこの部分は礫が堆積し、平常時は伏流・分流しているため、水量も少なく、

図-1 自然状態の札幌の河川形状^{1) 2) 3)}図-2 現在の河道の様子⁴⁾

図-3 大正2年洪水氾濫域⁵⁾図-4 昭和56年洪水氾濫域⁶⁾

水深も今と比べて浅く、川原も広いものであった。分流した一部は琴似川や伏籠川となった。また道庁、北大植物園周辺、苗穂周辺は扇状地の扇端部分であり、そこから水が湧き出て、琴似川、伏籠川の源泉となった。琴似川や伏籠川は蛇行しながら篠路川へ流れ、そして茨戸で旧石狩川へ注いだ。

豊平川の下流部では河幅が急激に狭くなり、勾配も緩くなり、蛇行しながらゆっくりと厚別・大谷地原野を流れていた。

月寒川、望月寒川、厚別川、野津幌川が流れ込む大谷地・厚別原野は深い泥炭で覆われており、深いところでは10mにも達した。この原野は豊平川の扇状地と石狩川の自然堤防に挟まれており、非常に水が溜まりやすく、排水しづらい場所であった。

モエレ沼に関しても現在よりも東西に長く、規模も大きい沼であったと予想される。

2.2 札幌の自然状態における氾濫

自然状態における札幌の洪水氾濫について検証してみる。大正2年洪水の氾濫域図を図-3に示す。図-4に示す近年の洪水である昭和56年の氾濫域と異なった形状を示すことが確認できる。

大正2年8月28日に起こった洪水は豊平川の氾濫が主たる原因で、豊平川の記録上最大の洪水であった。他の洪水は豊平川だけでなく、石狩川の背水の影響を受けたものが多かった。

今回、大正2年洪水を自然状態における氾濫例として挙げた理由を説明する。入植した明治4年から大正2年の洪水の間に施された主たる治水事業として、明治22年の新川開削、明治30年の創成川開削、豊平川への築堤が挙げられる。

新川に関しては、新琴似屯田・篠路屯田周辺においての排水を主な目的としており、洪水流を放出する放水路としての目的はなく、この当時は現在とは異なり、河積も小さかった。それゆえに、自然状態と比較した時に氾濫域の増減に関しての影響力は少なかったものと考えられる。

創成川に関しても新川と同様に新琴似屯田・篠路屯田の排水、水運、農業用水確保を目的としており、洪水流の放出という役割を持っていなかった。また、創成川周辺は琴似川周辺と比べ地盤高が高く、洪水流の影響を受けてこなかったため、創成川の影響は無視できる。

豊平川の築堤に関してだが、大正2年次において豊平川の堤防の高水は流量835[m³/s]で計画・設計されていたが、大正2年の洪水の最大流量はそれを遥かに上回る2000[m³/s]を記録した。そのため、南22条付近で126m、中島公園で234m、藻岩橋で144m堤防が決壊⁷⁾した。壊堤前までは自然状態の氾濫と異なる部分はあったが、壊堤後においてはかつての川筋に沿って洪水流が下ったことから、自然状態時の氾濫域と大きく異なることはないと考えられる。

大正2年洪水では発寒川の湾曲部周辺と大谷地、厚別原野で氾濫しているのが確認できる。豊平川の扇状地上で洪水流が分岐した後、琴似川・発寒川に流れているルートと大谷地・厚別原野に主に流れて行くルートが確認できる。

豊平川の堤防が決壊したために市街地が1.2m~1.45m浸水した。氾濫水の一部は琴似川沿いに琴似村にも達し、市街地だけでも1440町歩浸水した。札幌市街側の琴似川沿いの氾濫、サクシュコトニ川沿いの氾濫、伏籠川沿いの氾濫、さらに鉄道橋下流の左右沿いの氾濫が大きいことが分かる。

3 数値計算手法を用いた札幌の自然状態の河道とその氾濫の再現

史的調査の再現と比較のための数値計算手法を用いた札幌における自然状態の氾濫の再現について説明していく。

今回の氾濫シミュレーションにおいてはNaysという解析システムを用いた。これは測量データを読み込み、自由に格子を作成し、プログラムで計算を行った解析結果データを2次元または3次元で可視化するというものである。

3.1 流量

大正2年度の際の最大流量 2000 [m³/s]⁸⁾をピークとして札幌に洪水起こす．今回与えた流量の時間変化を図-5に示す．

3.2 計算式

計算は2次元非定常流，非圧縮流れの連続式および運動方程式をもとに行った．基礎式を以下に示す．

・ 連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

・ 運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2h)}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_y}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial(vh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial(vh)}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial(uh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial(uh)}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

ここに， x, y ：格子座標， u, v ： x, y 方向の水深平均流速， t ：時間， ρ ：水の密度， h ：水深， H ：水位である．

また，渦動粘性係数は

$$\nu_t = \frac{1}{6} \kappa u_* h \quad (4)$$

で与える．ここに， κ ：カルマン定数， u_* ：摩擦速度である．

τ_x, τ_y は x, y 方向の河床せん断力で，

$$\tau_x = \frac{\rho g n_m^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{\frac{1}{3}}}, \tau_y = \frac{\rho g n_m^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{\frac{1}{3}}} \quad (5)$$

で表される．また，時間刻 Δt は0.01秒，マンニングの粗度係数 n は0.01で与えた．計算方法の詳細は参考文献⁹⁾に譲る．

3.3 計算格子について

縦横 20km×20km の領域を一辺あたり 80 分割し，1メッシュを縦横 250m×250m となるメッシュを作成した．

3.4 計算結果

計算結果を図-6に示す．洪水時では豊平川扇状地を流れ出た後，豊平川が大きく2分するのが確認できる．1つのルートが大谷地を経て，モエレ沼方面に向かうものである．2つめのルートが北海道大学構内を経て琴似を抜け，発寒川に合流するルートである．

大谷地，モエレ沼ルートでは，扇状地を駆け抜けた後，低地にはいるため，流速が急激に落ち，水が滞留することが確認できた．その後，その滞留した水は雁来方面

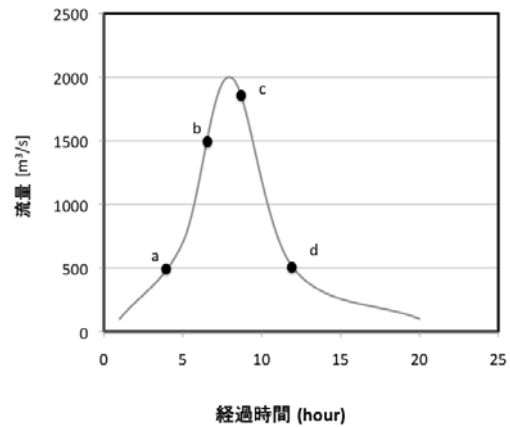


図-5 計算時に与えた流量

へと流れ，そしてモエレ沼へと流入するのが確認できる．モエレ沼は今こそ水量が少ないが，洪水時には水を貯水し，遊水池の役割を果たしているのが確認できる．モエレ沼が満水になった後，その水はモエレ沼方面から，茨戸方面，石狩川の2つ流れへ別れて最終的に両者とも石狩川に流入する．

一方，琴似，発寒方面へと抜けた洪水流についてだが，サクシコト二川などの川を下って，旧琴似川へと下った後，琴似川を超えて，発寒川へと流れて行ったのが確認できる．発寒川の湾曲部付近で紅葉山砂丘にぶつかり，茨戸方面へと水は流れて行った．茨戸を経由して石狩川に流れこむが，茨戸，篠路付近は低地になっており，発寒川から流れ込んだ洪水流がそこに停滞するのが確認できる．

4．シミュレーションと実際の洪水範囲との比較と考察

豊平川が主な氾濫の要因であった大正2年洪水と今回行ったシミュレーションについて比較を行なってみる．250m メッシュを用いた簡易的なシミュレーションではあったが，おおまかな氾濫範囲は一致した．

一致点として挙げられるのが，洪水流が豊平川の扇央で琴似・発寒方面と大谷地・厚別方面へと大きく2分した点である．また，大谷地に入った洪水流が雁来へ向い，モエレ沼方面へ行く過程の再現も一致した．大正2年洪水では鉄道橋下流の左右沿いの氾濫が大きかったが，シミュレーションにおいてもその部分が大きく氾濫しているのが確認できる．

相違点として挙げられる北区付近については，史的資料である大正2年洪水ではこの部分浸水していないのに対し，シミュレーションにおいては氾濫していることが確認できる．このような差異が出た理由として，河道を考慮しない250mメッシュの簡易的なシミュレーションであったことが挙げられる．北大近辺・道庁近辺は，当時は分流の浸食により窪地があり，またその自然堤防が作り出したりした凸地がたくさんある場所であった．水はその窪地を流れて行き，自然堤防を超えることはできなかったと思われる．実際にその付近の水深はシミュレ

ーションにより 1m を超えることはないことが分かったため、河道データと微地形を考慮することにより、大正2年の氾濫域と一致するものと考えられる。

史的調査によると、大谷地・厚別原野付近では浸水が3m以上、浸水時間は1ヶ月以上となっていた。しかし、シミュレーションにおいては水深が0.5mを超える場所がほとんど確認されなかった。

この理由として、植生の影響と厚別川や月寒川などの豊平川の支川の影響が考えられる。

植生の影響に関してだが、大谷地・厚別原野では5m~10mにおよぶ泥炭層があり、表層が泥炭であるところは夏期において1m~2mに達するヨシなどが繁茂し、流れに対する抵抗があり、水面勾配が緩やかであることと合わせて氾濫水は長期滞留する要因となっていた。また、抵抗による死水域により水深が高くなっていたことも示唆される。

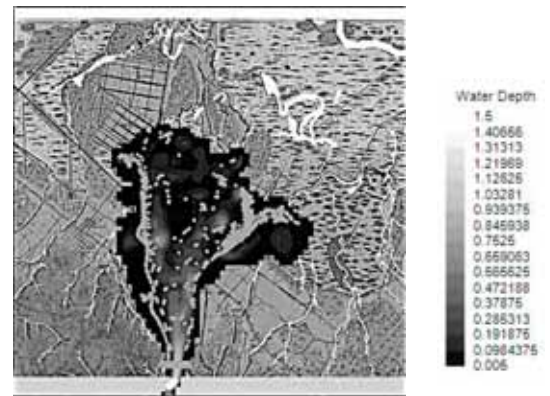
豊平川支川の影響だが、大谷地・厚別原野においては豊平川の氾濫だけでなく、支川である月寒川、望月寒川、厚別川、野幌川も氾濫しており、その流量を今回のシミュレーションにおいて加味していないために、このような違いが生じたと考える。

5. おわりに

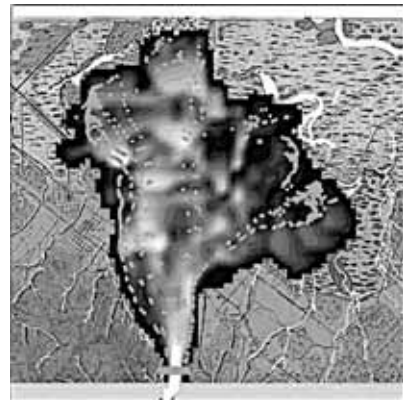
本研究は、札幌市の中小河川を対象に、治水事業が開始まる前の地形を史的資料に基づいて再現するとともに、大正2年における洪水を対象とした数値シミュレーションを実施し、史的資料から類推される氾濫形態との比較を実施した。今回のシミュレーションは、地形に地盤高のみを考慮し、比較的粗い計算格子を用いた簡易的なものであったが、このような方法でも自然状態の河川氾濫をある程度再現可能であることが示された。しかし、シミュレーション結果には一部、史的調査と一致しない部分が指摘された。今後はこの不一致点をなくすことを目標に、計算格子の見直しや、河道データの反映、植生の考慮、粗度係数の局所的変化の導入などに取り組み、河川改修の評価を評価できるモデルへと改良していきたい。

6. 参考文献

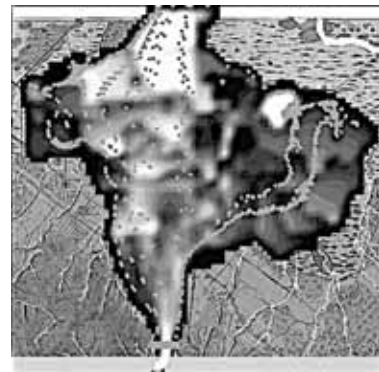
- 1) 国土地理院,旧版地形図「札幌」,明治44年
- 2) 国土地理院,『治水地形分類図 札幌・札幌東部・札幌北部・札幌 東北部』1976. 13)
- 3) 河川環境管理財団,『日本一急流の都市河川 豊平川』,p21
- 4) 国土地理院,旧版地形図「札幌」,平成4年
- 5) 前出 3),p77
- 6) 前出 3), p119
- 7) 前出 4), p75
- 8) 前出 4), p76
- 9) 長谷川善彦,清水康行:平成15年台風10号による北海道厚別川の洪水氾濫とその再現, 水工学論文集, 第49巻, 2005



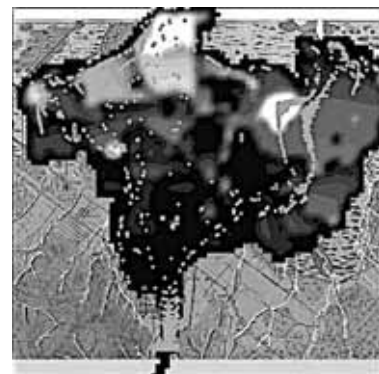
a) 時間: 4 時間 56 分 流量: 700 [m³/s]



b) 時間: 6 時間 56 分 流量: 1500 [m³/s]



c) 時間: 9 時間 20 分 流量: 1800 [m³/s]



d) 時間: 11 時間 36 分 流量: 500 [m³/s]

図-6 計算結果