

# 豊平川の治水計画 II

(総合治水対策と扇状地河川の河道計画)

## 次の街づくりのための視点

“流下型の氾濫”と“貯留型の氾濫” 202

内水問題再考 207

河道内樹木の管理 208

「水源面積」と健全な水循環 209

気候変動と治水対策 211



## 次の街づくりのための視点

『地球環境時代を先導する新たな北海道総合開発計画』(平成 20(2008)年 7月 4日閣議決定)は、食料供給基地としての役割強化、水と緑のネットワークを活かした観光・保養基地の形成などを通じ、北海道が我が国の抱える課題解決に貢献しつつ、安全でゆとりある快適な地域社会を形成していくこととしている。その実現のため、札幌とその周辺地域には、北の拠点として、政治・経済、国際交流機能、高等教育機能など中枢機能の集積や豊かな自然・観光資源の活用を先導し、これらを誇りをもって次世代に引き継ぐことができるよう、安全で活力に満ちた地域社会を形成する必要があるとしている。

また、これに引き続き、我が国を取り巻く時代の潮流の変化(本格的な人口減少時代の到来、グローバル化の更なる進展と国際環境の変化、大規模災害等の切迫)とその中で北海道が果たすべき役割を見据えた施策展開を図ることが必要となったことから、新たに『第 8 期北海道総合開発計画』(平成 28(2016)年 3月 29日閣議決定)が策定された。ここでは、「世界水準の価値創造空間」の形成を目指していくこととし、主要施策に人が輝く地域社会の形成、世界に目を向けた産業の振興、強靱で持続可能な国土の形成を掲げている。そして、北海道型地域構造の保持・形成を図って行くため、人口 200 万人を超える札幌都市圏は引き続き集積を活かして北海道全体を牽引していく役割を担うとともに、国家的規模の災害時にはバックアップ拠点機能とリスク分散が期待されている。

明治 2(1869)年当時人口 7 人であったとされる札幌は、北海道開拓の拠点として整備、成長が続き、今や人口 190 万人を超える我が国有数の中核都市、北海道の中心都市に発展した。そして、市街地の中心を流れる豊平川は、街の基軸を構成する重要な水辺空間として、雨水・融雪や都市廃水を流し、水道用水や電気を供給し、地下水を涵養する大動脈として、札幌市民の生活に無くてはならない存在であり続けている。

これまで見てきたように、札幌の街が拓けた土地の生い立ちをはじめ、街が発展する過程で発生した洪水氾濫の実態や変化、街づくりに果たしてきた豊平川の役割とそれらの変遷などを追跡すると、そこには今日に至る札幌の街と豊平川ならではの要因が存在していることが明らかになってくる。そして、それはとりもなおさず、これからの街づくり、都市再生を考えていく上で不可欠な、最も基礎となる条件、この街が持つ特性を提供してくれている。

ここでは、次に求められる札幌の街づくりを考えるための課題・着眼点を、豊平川を基軸においた視点から列記する。

## “流下型の氾濫”と“貯留型の氾濫”

洪水氾濫は、氾濫原の微地形、地形勾配などに応じて“流下型”と“貯留型”に大別できる。

今、洪水により豊平川が氾濫すると、札幌の中心市街地は地形勾配が百数 10 分の 1 の扇状地上にあり、市街地を貫流する豊平川の氾濫流は幾筋もの旧河道に沿って高速流となって流下し、市街地は島状に取り残された状態になる。また、その洪水は大量の浮遊砂を運んでくるため、氾濫流は地下街をはじめ市街地に多くの土砂を堆積するおそれがある。急流な河道の水位や流量に追従して氾濫流入は比較的短時間となるものの、流速が大きいため住宅など施設の破損を生じる場合がある。これは、“流下型”の氾濫である。

一方、人口の増加にともない扇状地の北、東に広がる低平湿地まで市街地が拡大した。扇状地末端から石狩川本川に至る沖積地は地形勾配が数百分の 1～数千分の 1 と緩やかになり、氾濫流の流速は小さいものの氾濫域は一帯に広がり、地盤標高も低いため氾濫水は大きな水深のまま長時間滞留することとなる。“貯留型”の氾濫である。

「水害は場所で変る」といわれる。同じような雨であっても地形や支川合流など自然的な条件に応じて異った氾濫被害が発生している。また、「水害は進化する」ともいわれる。土地利用の変化、都市化の進展や堤防の整備拡充など経年的な人間活動の働きかけに応じて被害の実態が変わってきたことは良く知られている。

こうした市街地の形成過程やその途上で発生した洪水氾濫の実態、変化から、札幌ならではの自然的要因(地形、地質、洪水流出特性など)や社会的要因(都心距離、交通体系、都市構造など)を読みとることができる。

### 自然的要因

洪水氾濫は、洪水位の高さと地盤の高さの相対的な関係によってその区域が異なる。また、地形勾配の大きさに応じて氾濫流の流量・流速が違ってくる。

山間部を通過後の豊平川沿川に広がる札幌とその周辺市街地の地形は大略図 88 の様に分類され、地形の成因やその形成過程の違いにより、旧豊平川扇状地、新豊平川扇状地、札幌北部、東部の沖積地に大別される。

旧豊平川扇状地は豊平川の水位に対して地盤高が高いから、豊平川などからの氾濫は到達しない区域である。平岸台地がそれである。

新豊平川扇状地は地質年代の時間をかけて洗堀されてきたから、基盤は礫質で、地形勾配が大きく、かつ、地盤高の凹凸が大きい。その範囲は豊平川上流の石山地区・硬石山付近を扇頂に、中心市街地が位置する豊平川の左岸一帯に及び、JR 函館本線が東西に伸びる辺りを北限としている。

ここでは“流下型”の氾濫が発生してきた。

そして、その北部、石狩川に至る間が広大な沖積地であり、地形勾配は急に小さくなり、地表面の凹凸も小さい。扇状地で洗掘された砂質土が直接沈降した箇所は地盤高が高く、創成川や伏古川の沿川がそれである。しかし、JR学園都市線が創成川を横架する辺りを過ぎると、その北側は石狩川の河岸堆積層が出現するまで標高2.5m程度の低地が続く。また、西側へ発寒川扇状地に至る間と東側へ豊平川に至る間は、さらに地盤高が低く、モエレ沼などの沼が現れる。

一方、豊平川右岸には、旧豊平川扇状地が洗掘されずに高い地盤高のまま残ったため、JR函館本線以北は左岸のような洗掘、沈降した土がなく、地盤高は急に低くなる。そして、その北側は、そのまま広大な泥炭性の低平湿地であった大谷地、厚別、対雁原野となり、石狩川沿には地盤高が高い自然堤防が出現する。

これらの地域では“貯留型”の氾濫が発生してきた。

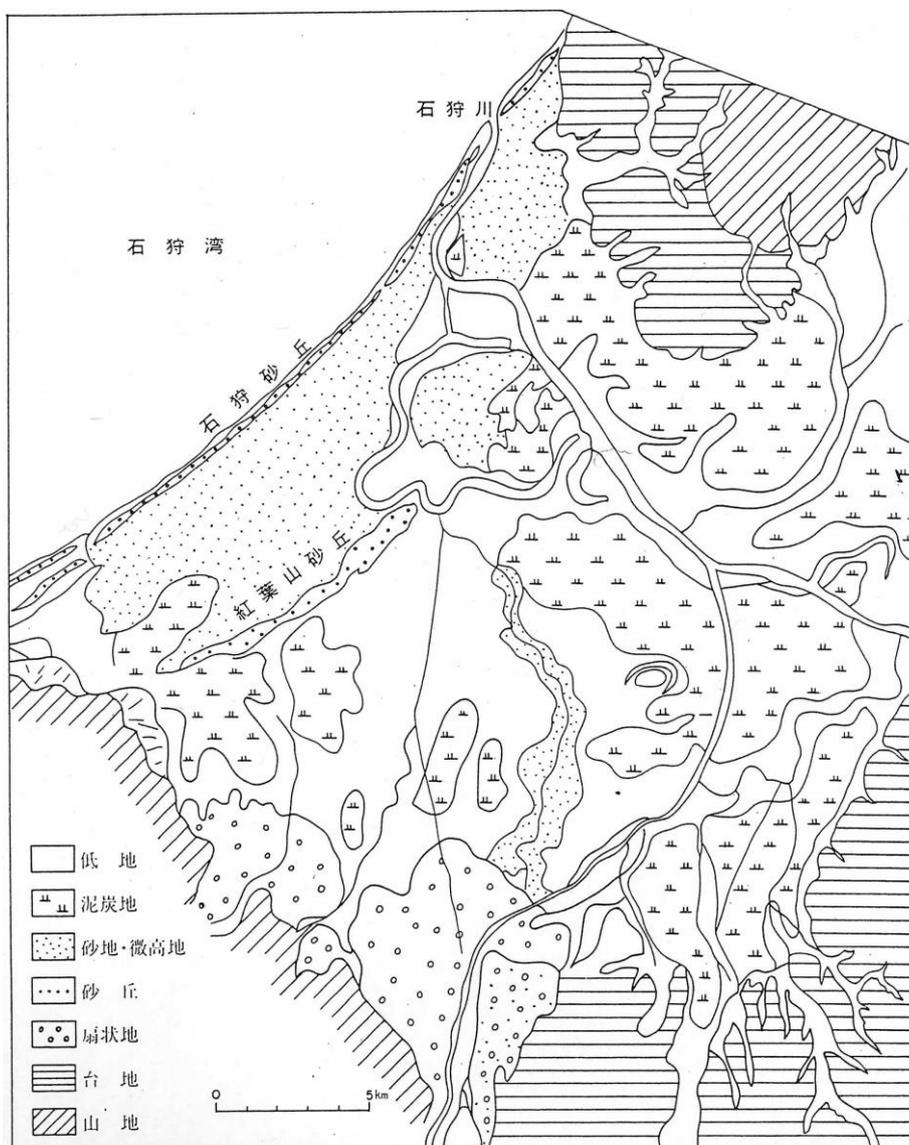


図 88 札幌周辺の地形

次に、地質からみると、中心市街地が位置する新、旧豊平川扇状地は基盤が礫層で堅固であり、地盤沈下や地震にも強い。また、地下水が豊富であり、開拓途上にあつては扇端辺りに湧水(アイヌ語でメム、図 89)が見られた。

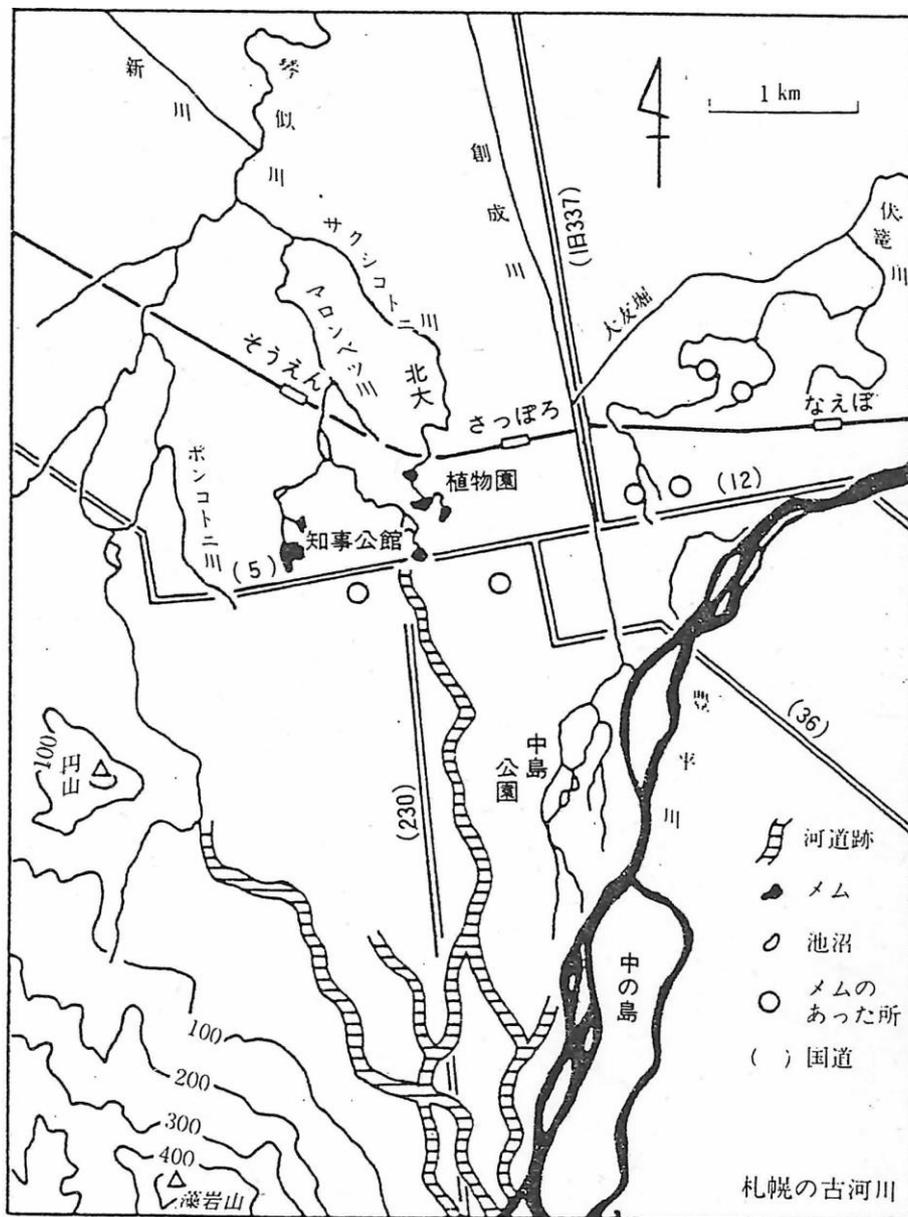


図 89 古河川とメムの分布

扇状地を洗掘した砂質土が沈降した創成川、伏古川沿川と自然堤防が見られる石狩川沿いは砂質土で基盤が構成されている。

そして、その中間の低平地には層厚が5mに達する泥炭が広く分布し、そこは低湿地であるとともに、地耐力がないため盛土した堤防や道路が沈下破壊したり、住宅を建てるには基礎杭を必要とした。

これら基盤の地質の違いは、元々豊平川などの流れに起因するところが大きいですが、他方、豊平川の河道形成にも大きな影響を与えてきた。

扇状地を流れる豊平川は上流から多くの土砂を運搬してくる。洪水時には運ばれてきた直径50cmにも達する巨石が衝突し、火花や衝突の音を発するほどであるが、勾配が緩やかになると砂礫は川のなかに堆積し、大小の中州を形成してきた。そのため川幅が700mを超える河道が形成され、その中州を利用して中の島市街地、中島公園、菊水から米里の住宅地が誕生した。また、中州の外縁を流れる分岐した流れは砂礫質の河岸を侵食し、鴨々水門や豊平川の堤防を破壊し続けたため、堤防法面は古くは石張りが、現在はコンクリートブロックが施されてきた。

一方、JR函館本線より下流は河岸がシルト、粘土であるから河岸決壊は発生しづらく、低水路幅は約50mほどであった。ここでは、上流の河道に比べ川幅が急に小さくなるから堰上げ現象が発生し、左右岸に氾濫、分派した流路が形成されていた。

さらに、洪水流出の違いをみると、豊平川の洪水は新、旧豊平川扇状地を形成してきたほどに多量の水と砂礫を流してくる。この流れは洪水の度毎に河岸線を変えつつ川幅が大きい皿型の形状をしており、幾筋にも分岐していた。中州を形成するとともに頻繁に河岸を決壊していたから、中小洪水でも河道災害が多発していた。

また、かつての豊平川は川底が浅く、水位が2.5mほど高くなると河岸高を越えて溢れ、左岸側には扇状地を西乃至北に向って流れる分派河川があった。扇頂部からJR函館本線までの区間で地盤高との比高が小さい左岸では、今の南22条大橋、鴨々水門、豊平橋下流または東橋下流付近から流れが分派し、下流は琴似川、マロンベツ川、サクシュコトニ川、伏籠川に注いでいた。この流れの跡地は窪地のまま市街地に残っており、そのため扇状地の東西方向には比高差3m程の凹凸が存在している。洪水の度に堆積域と洗掘域が変わりながら、大通のテレビ塔から円山の麓に向かって3mほど低くなっている今の地形が形成されたのである。従って、新豊平川扇状地は中心市街地となった現在も、ここに破堤氾濫が発生すると、氾濫シミュレーションで見た通り、氾濫流は明治37(1904)年洪水、大正2(1913)年洪水の際の氾濫実績と同じ筋道を通ることとなるはずである。

他方、右岸側は、地盤高が高いため氾濫することがなく、また、JR函館本線より下流では豊平川の自然堤防によって河岸周辺の地盤高は堤内地に比べ高かったから、氾濫頻度は小さかった。そのため、分派河川が生じることはなかったが、ただ、東橋下流から鉄道橋辺りにかけては上流に比べ河道が狭くなり、堰上げによって右岸側にも氾濫が発生した。北部、東部の沖積地にあっては地形の凹凸が少ないから、豊平川やその支川から溢れた水は低平地一面に広く氾濫し、石狩川沿川の自然堤防の高みに行く手を阻まれて長い時間滞留することとなったのである。

## 社会的要因

明治2(1869)年、開拓使を札幌に置くことが決り、北海道庁赤レンガ庁舎の位置に本庁舎が建てられた。それ以来札幌の市街地は赤レンガを同心円の中心としてドーナツ形

に拡大、整備されていく。都市の形成初期にそのコアからの距離に即して拓けて行くという、平地の中心にコアを設けた都市の発展過程の典型を見ることができる。

次に、市街地が拡大する途上の昭和 20～30 年代、前後して、隣接する町村との合併が進み、旧町村役場所在地が札幌市街地を中心とする衛星市街地状に点散する状況を経て、市街地はその中間地帯を衛星市街地に向って拡大して行った。その結果は昭和 45 (1970) 年、都市計画法の改正にともなう区域指定に表われることとなり、市街化区域の範囲は、北は低湿地、地耐力不足の低平湿地という基盤条件、南は藻岩山麓という地形条件にそれぞれ制約を受けて南北に狭く、東西に長い形状となった。人口の急速な増加に対応して、東西方向には交通網の整備によって都心への時間距離を短縮しつつ拡大してきたもので、その延長線上に市街化区域の外線形状は指定されてきた。

特に昭和 40 年代以降は、札幌市の人口増大と自動車の普及のタイミングが一致しており、交通体系の整備が市街地の拡大に影響している。それ以前の交通体系の主軸は、東西方向の函館本線と札幌駅から北方向の札幌線（現学園都市線）であったから、市街地は両鉄道に沿って拡大し、衛星市街地との中間に位置する駅隣接地の市街化が進んで行き、さらに、道路網の整備やバス、マイカーの普及によって、鉄道沿線の市街地の幅が拡大してきたのである。

さらに、都市の構造をみると、水害を防ぎ、安全で快適な生活を営む上で都市構造に新水路、堤防、護岸、下水道、住宅などの建物等多様な施設、社会基盤が主たる構成要素として必要であった。そのため、市街地の防御は、開拓当初、まず豊平川左岸堤防を整備したことにはじまり、以後、床止や護岸の整備が続けられている。

一方、低平湿地であることから水害に弱い札幌北部、東部では、新しい技術、工法によって豊平川新水路、旧豊平川新水路、堤防などを整備し、さらに石狩放水路、モエレ遊水地をはじめとする総合治水対策を施行して、市街地の安全を約束し、その後の市街地拡大に貢献してきた。

また、下水道は市街化区域をほぼ網羅しており、雨水、都市廃水を排水して低平地帯の生活環境を良好に維持しているほか、住宅など建物の基礎のコンクリート化は建物基礎を堅固にし、ぜい弱なシルト、粘土層地盤における建築を可能としてきた。

以上のような要因を踏まえると、豊平川河川整備計画を着実に推進することは勿論であるが、一方で、同計画の内容が氾濫域での対策に偏っていることが懸念される。豊平川は洪水エネルギーを空間的にも時間的にも分散を考慮しておくべき“暴れ川”であり、河道の安全確保は勿論のこと、砂防事業などによる土砂の扞止を考慮しつつ、水源地域における対策を再考しておくことが備えとして重要である。

## 内水問題再考

我が国の民法上、自分の土地で大気から受ける雨水の処理は、自己の責任において他人に迷惑をかけずに処理しなければならない。このことは、各自それぞれが雨水を貯留、浸透させる“各戸貯留施設”を持つことにより実現可能である。

都市計画区域では、市町村が集合的に雨水を処理する機会が多いが、この場合も下水道料金を徴収して受益者負担の原則を貫いている。そして、過度に密集した都市では下水だけでは現実的な処理能力を超えるため、各戸貯留の併用を進めている。一方、都市計画区域外の農振地域や下水道整備が遅れている都市計画区域では内水氾濫を防ぐために自己防衛が必要である。

大きな河川においては、国や都道府県が堤防や洪水調節施設などの整備によって外水氾濫を防ぐ努力を進めているが、その水準は未だ十分とは言えない現実に加え、限りある投資額を何に選択するのかという国民意識の問題もあり、また、仮に外水氾濫が防げた場合でも内水浸水が問題となる河川が多いのが現実である。

堤防の各所に設置された樋門は、平常時には堤内の小河川、排水路を通じて大きな河川へ排水する一方、外水位が高くなり逆流を防ぐために門扉を閉めると堤防と同じ働きをすることとなり、内水はそこに溜まり浸水、氾濫する。内水氾濫が引き起こす様々な事態に応じて対策を講じる場合、その態様によって主体は個人か団体が行政かになるであろうが、そこでも自己責任を免れることにはならず、自衛か代行者に依頼する受益者負担かの選択が迫られることとなる。かつて札幌市は、下水道施設の雨水排水機能が追従できないほど住宅地の爆発的な拡大が生じた時期に、住宅新築者に個人責任で高床式の住宅とするよう建築条件を付したことがあった。

被害額や被害頻度などから内水氾濫による影響が大きい場合には、河川改修事業や農業排水事業等としてポンプ排水機が設置されてきたが、現実には、受益者負担の原則は都市計画区域ほど明らかではなく、公平負担の原則からは、どこまで内水氾濫を防いで行くのかを考えなければならない。施設整備は広域の公的負担(国、都道府県)、維持管理は地域負担(市町村、団体)など現実的な対応としてこれまで行われてきたが、本来自己責任が基本である雨水処理の課題を、公平の原則に照らして、解決可能な制度とし、その実効性を上げるための仕組みづくりが久しく待たれている。

先例地であるオランダの制度例などを参考にしつつ具体化が急がれる。

## 河道内樹木の管理

これまで見てきたような地形地質調査によらなくても、水辺周辺の林層や林床、特に川に沿う林、溪畔林、河畔林からも地盤の大要を知ることができる。事実開拓時代にはそのようにして開墾適地を調査している。

豊平川では、源流近くはトドマツ、エゾマツの混じるダケカンバ林がほとんどで、水に近いところではケヤマハンノキかオガラバナが多い。溪谷にはいるとヤマモミジ、イタヤカエデ、センノキ、エゾヤマザクラ、シラカンバなどの美しい溪畔林やハルニレ、オヒョウ、ドロノキ、クリ、コナラ、ミズナラなどの河畔林が見られる。さらに、ヤナギ群落が目立ち出すと扇状地に入り、ハルニレ林が分布するようになるが、現在市街地ではその片鱗を公園などごく限られたところでしか見られなくなっている。また、扇状地の末端(扇端)部ではヤチダモ林が分布する。これも耕地防風林のような状態でなければ良く保全された群落を見ることは難しくなっている。これらが分布する土地は市街地や肥沃な開墾可能地として早くから拓けてきたからである。そして、最下流の泥炭地(湿原)にはハンノキ林がヨシの群落とともに広く分布していたが、これとても、大改良が行われて農耕地化するとともに姿を消していった。

このように、豊平川は急流であるがゆえに、わずか数十 km にすぎない区間のなかで、高山帯を代表するハイマツ群落から低位泥炭地のミズバショウやヨシの群落まで、植生上の大きな変化、凝縮された自然の移行を見ることができたのである。

河道内の樹木は、動植物の生息・生育環境や河川景観を形成するなど多様な機能を有する一方、洪水時は水位上昇や流木の発生などの原因となる。

現在の豊平川は、河道内の水際や砂州にヤナギ類を主体とする植生が繁茂し、年々拡大成長している状況にあり、特に豊平川の市街地区間や野津幌川、月寒川で河道断面が不足しているため、樹木の除去・下枝払いが計画・一部実行されているが、調査研究試行にとどまっている。

定期的なモニタリングに従って、その状況の変化に応じた順応的管理(アダプティブ・マネジメント)を遅滞なく実施していくことが求められる。

また、代替樹林帯の形成として、豊平川沿川に限定せず、創成川の再生(特に北6条以北)などに加えて、その場所を河川空間以外にも求めるよう取り組むとともに、樹種の選択にあたっては、元々の地盤特性に適う樹林帯を形成することが重要である。

## 「水源面積」と健全な水循環

丹保憲仁は、昭和 58(1983)年発行のさっぽろ文庫『札幌と水』のなかで「水と都市」と題し、都市生活に必要な用水やその廃水処理を確保するために必要となる水源地域の土地面積を「水源面積」として仮算定しており、限界を考えない都市の発展は健全な水代謝(水循環)を破綻に導くことに警鐘を鳴らし、それに立脚したまちづくりの必要性を問いかけている。

その概要は以下の通りである(数値は筆者が現在値を想定して置き換えている)。

近代では、都市発展の歴史的過程で、輸送・貯留・処理等の水代謝施設系に膨大な投資をし続け、生産と消費の空間的・時間的平均をなるべく広く長くとるように、広域の上下水道系を作ったり、大きな貯水池を作ったりしてきた。このような努力の成果として、すべての用途に飲用可能な水が得られ、汚水を生活圏外に問題なく速やかに排除し得る場合には、人々は依って立つ代謝の限界(水大循環の大きさの範囲)を特に意識することもなく都市の拡大を続けていくことになる。札幌も母なる豊平川に依存して、まだその極限での破綻を身に感じることなく今日に至り得ている。

札幌には極端に水を使う工業が存在していないため、市民一人当たりの水使用量は 350ℓ/日程度に止まっているが、それでも、その用水を 550km<sup>2</sup> の水源地域に降る年間 1,600mm ほどの降雨から集めようとする、豊平川の水源地域に一人当たり 130m<sup>2</sup> 以上の土地が必要となる。実際には雨の降り方、川の流れには変動があるから 600m<sup>2</sup> 程度なければ確保はむずかしく、現在は豊平峡、定山溪の既設 2 ダムで補給できるから 280m<sup>2</sup> 程度が用水に必要な「水源面積」ということになる。同様に利用された後の都市廃水は下水道で処理されて BOD10mg/ℓ前後で河川へ放流されるが、川の水質を水道水原水やサケ・マスの生息環境として求められる 3mg/ℓ程度に保つためには、下水処理で BOD 量を 90~95%減少させても、一人一日当たり 1.3 m<sup>3</sup>の希釈水が必要である。つまり今の下水道の仕組みでは、用水を得るために必要な面積の 3~4 倍、1,000 m<sup>2</sup> 程度の「水源面積」を必要とする。

こうしてみると、必要としている水資源の大きさは用水として利用されるものよりも環境保全の要求からくるものの方がはるかに大きく、都市内の上下水道を通過する水量と河川を流下する水量の比が 1:3 程度(現実には地表流出や河道からの汚濁を無視できないため 1:4 程度)がこうした都市の水システムの成立する限界となる。

しかるに、豊平川は中心市街地にかかる地点で 1:0.5 という状況である。豊平川から取水され下水となった水の 1/3 以下だけが豊平川の下流部に放流されているから豊平川は清浄な水質を保ちえているのである。他方、半分以上が放流されている創成川、茨戸川や新川は下水処理水の水質によってその水質がほとんど規定される状況となっている。すでに、これらの河川にレベルダウンを強いている状況の上に札幌の水代謝(水循環)が成り立っていることに留意が必要である。

また、河川水量に比べ都市内通過水量が増えていくと、河川の水量的変化が少なくな

るなどして、川が再生される度合いが減り、水質の維持がむずかしくなっていることを忘れてはならない。

これらの状況から、北部の都市小河川や茨戸川の水質対策として、『茨戸川及び札幌北部地区河川水環境改善緊急行動計画（茨戸川清流ルネッサンスⅡ）』（平成 15（2003）年 3 月策定）が進められているが、抜本的な解決には至っておらず、流域全体を見渡す広い視点から、本来あるべき札幌の水代謝の復元、健全な水循環の構築を総合的に考えていくことが求められている。

また、その検討と実現に向けては、河川に水量を確保し、水量の変化を維持するための環境用水や期別維持流量の導入、メムやそれに発する小河川を復活し、北部の地盤沈下を防止する用水配水システムの整備などが調査研究されるべき課題である。また、水源地域に残されたオンドリ沢の鉱滓ダムの状況とそこからの排水は、必要に応じ抜本的な対策を行うことも視野に入れて常時監視を怠ってはならない。そして、札幌の水に対する安全を確保する上では、何よりもその前提である豊平川水源地域を健全な状態に保全していくことが重要である。

## 気候変動と治水対策

最後に、これからの札幌の街と豊平川を考えていく上で、最も影響が大きいと考えられるのは、変化の規模想定が難しく、影響を受ける現象が複雑多岐にわたり、しかも変化を避けて通れない課題である気候変動の問題であろう。

近年、毎年のように全国各地で発生する記録的な豪雨と激甚な洪水被害には明らかに気候変動の兆候が現れており、北海道においても平成 28(2016)年 8 月などにその影響と考えられる現象が発生している。このため、「平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策のあり方」(平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会)をはじめとする報告・提言では、これらの変化に対応する現象想定や対策の研究・検討が進められるとともに、地下街・地下鉄を含む都市機能が集積する札幌への対策の緊急性が指摘されており、さらに、気候変動を考慮した河川計画づくりが、北海道をパイロットにして進められつつある。

すでに気候変動による地球の温暖化は回避が難しい状況にある。「気候変動に適応した治水・利水対策検討会」ほかの検討結果では、北海道の降水量への影響は全国平均より大きいとされ、例え様々な対策によって今世紀末の温暖化が(RCM2.0の予測結果(A2 シナリオ)通り)気温上昇 2℃に抑止されたとしても、石狩川流域の場合、年間降水量は 1.06 倍、年最大日(24 時間)雨量は 1.32 倍、年最大 3 日(72 時間)雨量は 1.21 倍(以上は 1980～1999 年の現況再現値と 2080～2099 年の予測値との比)になるとされている。また、月別には厳寒期(1、2 月)と夏季(8 月)に増加、無降水日数は 4 月、9～12 月に増加し、降雪量は厳寒期、平野部で減少、山間部で増加、年間積雪量は減少すると予測されている。

その結果、治水、利水、水環境などに関わる多様な影響が豊平川にも及ぶと懸念されており、なかでも降雨量の増大がもたらす洪水流量の増加、超過洪水の発生とその対策は、札幌の安全確保上はもとより、全道・全国に影響する札幌の都市機能保全上からも喫緊の課題として認識し、このことを早期に解決することが重要である。

豊平川においては、洪水流量の増加、超過洪水の発生は堤防越水の増加、破堤の危険性増大、内水氾濫の規模拡大とそれらにともなう浸水被害・人的被害の拡大が懸念される。扇状地における豊平川左岸の破堤を想定すると、氾濫形態は拡散型であり、地形に沿って短時間に広範囲に氾濫流が到達し、高度利用されている地下空間をはじめ中心市街地が壊滅的な被災の対象となり、さらに観光客など地元住民以外に影響が及ぶことを想定しておく必要がある。

大都市を流れる河川としては稀有な急流である大河川豊平川の姿は、これまで見てきた通り、その地形と河道の形成の長い歴史の結果であり、山地、山間地、扇状地、沖積地を流れ下るときそれらを物語る様々な性質・特徴が現われる。そして、それらに従って流れる氾濫水の行方は直接壊滅的な被害や都市機能のマヒにつながるのである。

大きな砂礫で構成される扇状地区間では流路変遷が著しかったが、流路を固定すると

ともに、浅く広い断面の皿川だった低水路幅を規制しつつ床止め方式で“暴れ川”の河道安定を図ってきた。また、護岸工や根固工によって急流河川の乱れた流れから堤防や河岸を保護してきた。

一方、川幅が狭かった沖積地区間では新水路・放水路の開削や上下流が逆転していた低水路幅を拡幅して流下断面(疎通能力)を確保し、軟弱地盤上にも堤防を築いて氾濫を防いできた。貯留型の氾濫形態となる低平地における洪水水位上昇は根本的な問題を発生させるから、総合治水対策により流出を抑制してきた。

また、近年は、山地・山間地において洪水調節機能を発揮するダム群や土砂流出を扨止する砂防施設の整備を進め、河道への負担を大幅に軽減してきたが、未だ途上にある。

では、気候変動にともなう洪水流量の増加、超過洪水の発生には、今後どんなハード対策が可能であろうか。

豊平川の断面を大きくする方法として、拡幅は兩岸に連坦する市街地や幹線交通網を造り替えるほどの対応が必要となるから現実的ではなく、また、河床を下げるには、扇頂部の岩盤河床と地下鉄横断箇所河床高が規制されていて、現状を大きく変えることは困難である。

一方、中心市街地区間の堤防は、ほとんどの区間で幹線道路が計画築堤高の上に占有している関係で、その高さ分だけ見た目断面が大きくなっている。このため、洪水疎通能力は計画洪水流量や気候変動による想定流量規模を確保できるようである。しかし、流量が増加すると水深が増し、流速の増大を招き、破堤の危険性は格段に増加することを念頭に置く必要がある。試みに、マニュアルに従って幌平橋近傍の断面において現状の護岸、護床の安定性を評価すると、計画高水位あるいはそれを上回って計画築堤高まで水位が達すると、保護工の安定性には疑問が残る評価結果となった。これまで経験してきた豊平川の乱流ぶりからも、現状は危険な川(高速流、三角波)であり、計画を超える洪水流が安全に流れるには、河道計画そのものの再考が求められ、少なくとも主要区間全川にわたって堤防や河岸の保護工を抜本的に改修することが必要となるだろう。

それなら、これまでの投資を無駄にしないため、洪水量を低減できないだろうか。流量低減効果の高い方法や実現できる空間(位置)はないだろうか。

幸い豊平川流域は8割以上(計画基準点・雁来地点と扇頂部・石山地点の流域面積比)が上流域にあたる山地・山間地であり、山地に洪水エネルギーを分散する対策が効果的・効率的と考えられる。ダムによる洪水調節は、水源地域において洪水時に洪水を貯留し、時間をおいて放流するもので、空間的にも時間的にも洪水エネルギーを分散する効果がある。特に急流河川においては急速に増加する洪水流量の大きな部分を低減して集中を分散するため、効果的・効率的な対策として一般的に多用されてきている。

河川整備基本方針においても豊平川には第3のダムが必要とされている。“暴れ川”の気候変動対策としても効果的な装置となり得る、ダムによる洪水調節を具体化することが急ぎ求められる。

現在、新たな計画づくりは「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」(平成30年発足、令和1年10月提言)を中心に検討が進められており、気候変動を考慮した新たな豊平川治水計画の策定と対策の具体化が急務である。

(参考) 豊平川の護岸、護床の安定性評価(試算)

豊平川の破堤に対する安全性を確認するため、「改訂 護岸の力学設計法」((財)国土技術研究センター編)に従って、現在の豊平川の堤防、河岸保護工(護岸、護床)の力学的安定性の評価を試みた。

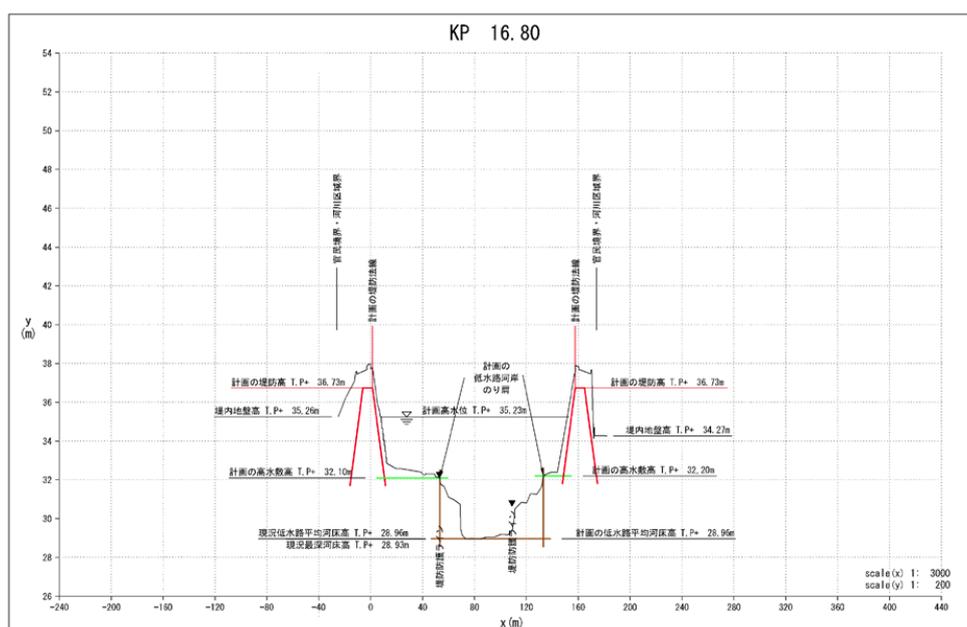
水量は、計画高水位(計画洪水流量相当、表25の2))と計画築堤高(気候変動後の想定洪水流量、表25の1))を対象とし、中心市街地への氾濫の影響が大きい幌平橋近傍地点(KP.16.8)の断面(図90)を使用した。

表 25 豊平川の計画流量想定(雁来地点)

生起確率	基本高水流量 m <sup>3</sup> /s	洪水調節流量 m <sup>3</sup> /s	計画高水流量 m <sup>3</sup> /s	摘 要
1/1000	3,800	△800	3,000 <sup>1)</sup>	1.21倍 豊平峡、定山溪
		△1,100	2,700	+新ダム
1/150	3,100	△800	2,300	豊平峡、定山溪
		△1,100	2,000 <sup>2)</sup>	基本方針 +新ダム
1/80			2,000	整備計画(検討中)
1/50	2,400	△500	1,900	整備計画

注) 太字は法定計画値、他は概算想定値

太枠内は安定性検討の対象流量(計画築堤高相当、計画高水位相当)



石狩川水系豊平川管理基図横断面図

図 90 試算に使用した横断面(KP.16.8)

試算は、コンクリートブロックの力学的安定性を評価するもので、マニュアルに従い構造モデルに当てはめて検討した。法覆工は、流体力によりコンクリートブロックが滑動する破壊形態を想定し、「滑動-群体モデル」として照査した。なお、現地における施工上の問題あるいは出水により部分的に段差等が生ずることを想定して控厚を30～50%程度割り増した値を採用することが望ましいとされていることから、「控厚の割増考慮」の場合も照査した。また、根固め工は、流体力により滑動、転倒する破壊形態を想定し、「滑動・転倒-層積みモデル」として所要重量を照査した。

その結果は表26、27の通りであり、安定性には疑問が残る領域に属する評価結果となっている。

表 26 法覆工の力学的安定性

記号	項目	単位	高水護岸工安定計算		備考	基準書等 頁
			計画高水位	計画堤防高		
			設計水深3.03m 旭式 大型格子ブロック 350キヨタイブ	設計水深4.53m 旭式 大型格子ブロック 350キヨタイブ		
$\theta$	護岸法面勾配	°	1:2.0	1:2.0		護岸の力学設計法(P74)
$V_0$	代表流速	m/s	26.565	26.565		
Hd	設計水深	m	4.32	5.33		
ks	ブロック相当粗度	m	3.03	4.53		
ks	上流側のブロック相当粗度	m	0.263	0.263		水路特性値(試験値)
$A_0$	揚力作用面積	m <sup>2</sup>	0.04	0.04		護岸の力学設計法(P76)
$A_0$	抗力作用面積	m <sup>2</sup>	0.986	0.986		水路特性値(試験値)
$C_1$	単体ブロックの揚力係数		0.176	0.176		水路特性値(試験値)
$C_1$	単体ブロックの抗力係数		0.170	0.170		水路特性値(試験値)
$C_1$	群体ブロックの揚力係数		0.530	0.530		水路特性値(試験値)
$C_1$	群体ブロックの抗力係数		0.040	0.040		水路特性値(試験値)
$C_1$	群体ブロックの抗力係数		0.130	0.130		水路特性値(試験値)
L	ブロック全長(流水方向)	m	0.99	0.99		製品カタログ
B	ブロック全幅(流心直角方向)	m	1.00	1.00		製品カタログ
tb	ブロック厚さ(突起除く)	m	0.155	0.155		製品カタログ
tb	ブロック厚さ(突起除く)	m	0.202	0.202	30%割増考慮	
$\rho_b$	コンクリートの密度	kg/m <sup>3</sup>	2300	2300		
$\rho_w$	水の密度	kg/m <sup>3</sup>	1000	1000		護岸の力学設計法(P74)
$\mu$	摩擦係数		0.65	0.65	土と吸出し防止材の間の摩擦係数	護岸の力学設計法(P74)
W	ブロック空気中重量(実重量)	kg	351.9	351.9		製品カタログ
kv	体積補正係数		1.00	1.00	部材の実際の体積と厚さtbの直方体してみなした体積の比	護岸の力学設計法(P74)
$V_d$	設計流速	m/s	3.034	3.456	$V_d=8.5V_0/(6.0+5.75\log_{10}(Hd/ks))$	護岸の力学設計法(P80)
g	重力加速度	m/s <sup>2</sup>	9.8	9.8		護岸の力学設計法(P74)
Ww	法覆工の部材の水中重量	N	1947.1	1947.1	$Ww=(\rho_b-\rho_w)\times g\times Kv\times Ab\times tb$	護岸の力学設計法(P74)
Ww	法覆工の部材の水中重量	N	2531.2	2531.2	$Ww=(\rho_b-\rho_w)\times g\times Kv\times Ab\times tb$ (控厚の割増考慮)	護岸の力学設計法(P74)
L	揚力	N	181.5	235.5	$L=\rho_w/2\times C_1\times A_0\times V_d^2$	護岸の力学設計法(P74)
D	抗力	N	105.3	136.6	$D=\rho_w/2\times C_1\times A_0\times V_d^2$	護岸の力学設計法(P74)
照査	左辺 $\mu(Ww\cdot\cos\theta-L)$	N	1014.0	978.9		護岸の力学設計法(P74)
照査	右辺 $[(Ww\cdot\sin\theta)^2+D^2]^{1/2}$	N	877.1	881.4		護岸の力学設計法(P74)
判定	判定【照査式】		OK!	OK!		
判定	左辺-右辺【参考値】	N	136.9	97.5		
照査	左辺 $\mu(Ww\cdot\cos\theta-L)$	N	1014.0	978.9		護岸の力学設計法(P74)
照査	右辺 $[(Ww\cdot\sin\theta)^2+D^2]^{1/2}$	N	1136.9	1140.2	控厚の割増考慮	護岸の力学設計法(P74)
判定	判定【照査式】		NG!	NG!		
判定	左辺-右辺【参考値】	N	-122.9	-161.3		

表 27 根固工の所要最小重量

項目	記号	単位	計画高水位	計画堤防高	備考
ブロック近傍流速	$V_d$	m/s	6.040	7.080	法尻流速
形状係数	$\alpha$	—	0.54	0.54	$\times 10^{-3}$
割引き係数	$\beta$	—	2.0	2.0	平面型
水の密度	$\rho_w$	kg $\cdot$ s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	102	102	
護床工の密度	$\rho_b$	kg $\cdot$ s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	207	207	模型ブロックでの比重より
重力加速度	g	m/s <sup>2</sup>	9.8	9.8	
最小ブロック重量	W	t	0.809	2.100	<3.00t