

豊平川流域を中心とした水循環の実態と評価

Present Condition and Evaluation of Water Cycle Around Toyohira River Catchment Area

株式会社 福田水文センター ○正員 濱原 能成 (Hamahara Yoshinari)  
独立行政法人 北海道開発土木研究所 正員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)

1. はじめに

水環境の保全や利用という観点から、流域全体の水循環の量と質について考察するとき、降雨・蒸発から流出に至る自然な循環系と、上下水道のような施設を介した人工的な循環系の両者を考えていく必要がある。特に下水道整備が進んでいる都市域では、上下水道等人工水循環系を経由する水量が、本来の自然水循環系を経由する水量をすでに上回っているところもある。すなわち、人工水循環系の水量・水質の状態がその流域の水循環全体を支配する状況になり得る。そのような場の水環境の保全には、下水道等の人工水循環系の影響や効果を評価しつつ、総合的な水管理を行っていく必要がある。

以上を踏まえ、本研究では流域内に札幌市という大都市を抱える豊平川流域について、その水収支と物質収支の現状と特徴について整理してみた。

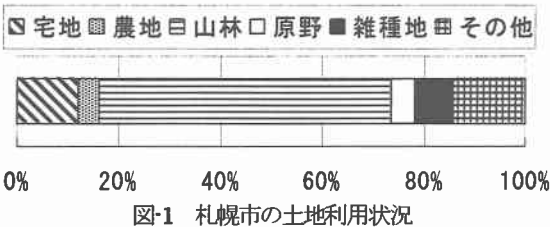
2. 対象流域

豊平川は流域面積 960km<sup>2</sup> 流下距離約 72.5km (石狩川合流点) であり、札幌市を南北に貫く河川で、札幌市域の約 86% を占める。豊平川は、札幌市民 180 万人の水がめとしての役割だけでなく、洪水を安全に流下させるための機能や、親水機能を担っている。

図-1 に現在の札幌市の土地利用状況を示す。札幌市域は面積が 1,210km<sup>2</sup> で山林の割合が約 58% と多く、このほとんどが豊平川上流域に広がっている。また市域内の農地の割合が約 4.1% と低いため、有機汚濁物質の主な負荷源が家庭からの生活排水であるという特徴を有している。

現在、札幌市の都市域が広がりをみせる中、とくに北部で宅地開発が進んで流出形態が変わり、付近の小河川の流量の枯渇や水質の悪化が問題になってきた。

そこで、これらの問題への改善策を見出すために、札幌市全体の水循環の現状について整理してみた。



3. 水循環とその特徴

3.1 豊平川周辺の水循環

流域全体の水循環について整理したものを図-2 に、データの出典を表-1 に示した。豊平川は定山溪ダムおよび豊平峡ダムからの放流に残流域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石山に達する。したがって、石山における流量 109 万 m<sup>3</sup>/day に白川浄水場での取水量 54 万 m<sup>3</sup>/day と藻岩発電所での取水量 88 万 m<sup>3</sup>/day を加えた 251 万 m<sup>3</sup>/day が水利用が全くない場合の石山における日平均流量となり、これは、年間 1,590mm の水資源賦存量があることを示している。

次に、白川浄水場で取水された水は他の流域から取水された水を加え、約 55.2 万 m<sup>3</sup>/day が札幌市上水道として供給される。また、この他に地下水の揚水 10.6 万 m<sup>3</sup>/day が加わり、札幌市への水資源の供給量は 65.8 万 m<sup>3</sup>/day になる。

以上のような経路で札幌市内に供給された上水は、家庭や事業所等を経由して、市内 8 つの下水処理場に送られ、河川に放流される。札幌市内で放流される下水の量は日平均で 81.9 万 m<sup>3</sup>/day (晴天時)、そのうちの、約 33.6% は厚別川や望月寒川といった支川を経由し、再び豊平川に戻されるが、あとの 66.4% は、主に新川 (35.9%) や茨戸川 (29.8%) に放流され、豊平川流域外に輸送される。

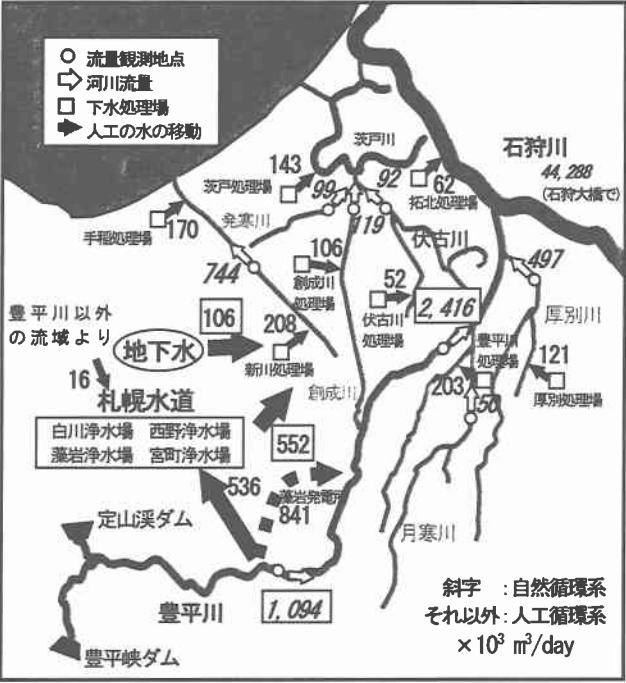


図-2 豊平川周辺の水循環模式図

表-1 水循環のデータ出典一覧

| 項目          | 年次        | 出典                                   |
|-------------|-----------|--------------------------------------|
| 河川流量 (新川以外) | 1996～2000 | 石狩川開発建設部 資料                          |
| 河川流量 (新川)   | 1996～1999 | 札幌土木現業所 資料                           |
| 上水道取水量      | 1996～2000 | 維持管理年報 <sup>1)</sup>                 |
| 下水道処理水      | 1996～2000 | 札幌市水道水量水質年表 <sup>2)</sup>            |
| 地下水揚水量      | 1996～1999 | 札幌市の環境 <sup>3)</sup>                 |
| 発電所取水量      | 1996～1998 | 平成 10 年度豊平川物質循環検討業務報告書 <sup>4)</sup> |

3.2 豊平川集水域の降水量と蒸発散量

次に豊平川における水資源賦存量の推定を行った。  
水資源の供給源である降水量は主に①冬季の降雪水量の観測が不正確である、②降雨量や降雪量が標高により大きく変化する、という2点から推定が難しい。そこで、本研究では口澤ら<sup>5)</sup>によって推定されている豊平川上流部の豊平峡ダム（流域面積134km<sup>2</sup>）と定山溪ダム（流域面積104km<sup>2</sup>）における降水量および蒸発散量に基づき豊平川上流集水域（石山地点：流域面積550km<sup>2</sup>）の水資源賦存量を以下のような式から推定した。

$$X_{\text{豊平川上流集水域}} = \frac{X_{\text{定山溪}} \times A_{\text{定山溪}} + X_{\text{豊平峡}} \times A_{\text{豊平峡}}}{A_{\text{定山溪}} + A_{\text{豊平峡}}} \times A_{\text{豊平川上流集水域}}$$
  
A; 流域面積 (km<sup>2</sup>)    X; 降雨量・降雪水量・降水量・蒸発散量 (mm)

その結果を表-2に示す。豊平川上流域での1996年～2000年の平均年降水量は2,100mm/year 蒸発散量は542mm/yearになり水資源賦存量は1,558mm/yearとなった。これは、石山での自然流出量(1,590mm/year)とほぼ同じ値であり、流況を完全に平滑化できたとして約235万t/dayの水資源が利用可能であることを示している。

表-2 集水域の年間降水量・蒸発散量(1996～2000年の平均)

|                         | 定山溪ダム<br>流域 | 豊平峡ダム<br>流域 | 豊平川上流集水域<br>(石山地点) |
|-------------------------|-------------|-------------|--------------------|
| 流域面積 (km <sup>2</sup> ) | 104         | 134         | 550                |
| 降雨量 (mm/year)           | 811         | 1,043       | 942                |
| 降雪水量 (mm/year)          | 1,263       | 1,077       | 1,158              |
| 降水量 (mm/year)           | 2,074       | 2,120       | 2,100              |
| 蒸発散量 (mm/year)          | 503         | 572         | 542                |
| 流出量 (mm/year)           | 1,571       | 1,548       | 1,558              |

※定山溪ダムと豊平峡ダムの値は口澤<sup>5)</sup>より

3.3 渇水流量に関する考察

現実には、流況を完全に平滑化することができないため、「賦存量＝常に利用できる水資源の量」とはならない。そこで、最低限利用でき得ると考えられる渇水流量を「常に保証される水資源の利用可能量」と考え、なおかつ、「生物の生息に最も厳しい環境」として渇水流量に関する評価を行った。表-3に札幌市内の各河川の平均流量と渇水流量およびその比を示した。

平均流量/渇水流量は値が小さいほど流況が平滑化することを示しており、丹保<sup>6)</sup>は、ダムや森林の貯留効果によって平滑化が十分に進んだ流域では2～2.5程度の値をとると述べている。実際には、豊平川本流での平均流量/渇水流量は8～9と高い値を示し、下流部の各支河では概ね2前後の低い値を示した。  
豊平川上流部では定山溪ダムや豊平峡ダムにより流量が平滑化されているはずなのに高い値を示している要因は、前述のように水道や発電（石山地点の場合のみ）のための取水を行っているため、本流自体の基底流量が小さくなっているためと考えられる。そこで、ダムによる流量の平滑化の状況を知るために定山溪ダムと豊平峡ダムの流入量と放流量より、流量調整がある場合とない場合での豊平川上流集水域（石山地点：流域面積550km<sup>2</sup>）の日流出量を以下のような式で推定した。

[ダムによる平滑化がない場合]

$$Q_{\text{豊平川上流集水域}} = \frac{A_{\text{定山溪}} \cdot Q_{\text{定山溪・in}} + A_{\text{豊平峡}} \cdot Q_{\text{豊平峡・in}}}{Q_{\text{定山溪・in}} + A_{\text{豊平峡}}} \times A_{\text{豊平川上流集水域}}$$

[ダムによる平滑化がある場合]

$$Q_{\text{豊平川上流集水域}} = Q_{\text{定山溪・out}} + Q_{\text{豊平峡・out}} + \frac{A_{\text{定山溪}} \cdot Q_{\text{定山溪・in}} + A_{\text{豊平峡}} \cdot Q_{\text{豊平峡・in}}}{Q_{\text{定山溪・in}} + A_{\text{豊平峡}}} \times A_{\text{残流域}}$$

Q; 流量    Q<sub>out</sub>; 放流量    Q<sub>in</sub>; 流入量    A; 流域面積  
残流域＝豊平川上流集水域（石山地点）－定山溪ダム流域－豊平峡ダム流域

その場合の平均流量、渇水流量、平均流量/渇水流量を表-4に示す。結果として、豊平川ではダムがなかった場合は平均流量/渇水流量の値が6.7であり、ダムがあることによって3.9に平滑化されていることがわかった。したがって、現在の豊平川では水資源の賦存量を渇水流量で考えた場合、ダムによる平滑化により水資源供給量が1.7倍になっていることがわかる。  
また、下流域で平均流量/渇水流量の値が概ね1～2程度と比較的低い理由としては、下流域の河川には年間を通して、安定した量の下水処理水が流入していることが要因と考えられる。

表-3 平均流量と渇水流量の比較(1996年～2000年)

| 河川  | 地点   | 流域面積<br>(km <sup>2</sup> ) | 平均流量  | 渇水流量 | 平均流量<br>渇水流量 |
|-----|------|----------------------------|-------|------|--------------|
| 豊平川 | 石山   | 550.0                      | 1,094 | 132  | 8.3          |
| 豊平川 | 雁来   | 651.0                      | 2,416 | 273  | 8.8          |
| 新川  | 天狗橋  | 107.5                      | 744   | 347  | 2.1          |
| 月寒川 | 月寒   | 28.0                       | 50    | 11   | 4.5          |
| 厚別川 | 厚別   | 183.0                      | 497   | 230  | 2.2          |
| 発寒川 | 発寒   | 24.0                       | 99    | 63   | 1.6          |
| 伏古川 | 伏古下流 | 71.0                       | 92    | 54   | 1.7          |
| 創成川 | 創成   | 21.0                       | 119   | 62   | 1.9          |

単位：×10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/day

表-4 石山地点での平均流量/渇水流量の推定値

|               | 平均流量  | 渇水流量 | 平均流量<br>渇水流量 |
|---------------|-------|------|--------------|
| ダムによる平滑化がある場合 | 2,376 | 613  | 3.9          |
| ダムによる平滑化がない場合 | 2,391 | 357  | 6.7          |

単位：×10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/day

4. 物質循環とその特徴

4.1 BOD 負荷量

処理場からの汚濁物質負荷量の指標としてBODを用い、流域全体のBODの負荷量について図-3に、また、各下水処理区の概要について表-5にまとめた。

なお、BOD負荷量の算出は札幌市下水道局維持管理年報<sup>3)</sup>の値を用い、

下水処理場への流入負荷量＝晴天時汚水量×流入下水BOD濃度  
河川への流出負荷量＝晴天時汚水量×放流水BOD濃度  
として、各処理場毎に算出した。

この結果、札幌市全体では家庭や工場から約150t/dayのBOD負荷が発生し、約95%が下水処理場で処理されて平均で約7.2t/dayが放流されているのが現状である。

排出されている負荷のうち、新川には新川処理場と手稲処理場より札幌市全体の約36%に当たる合計2.6t/dayが排出され

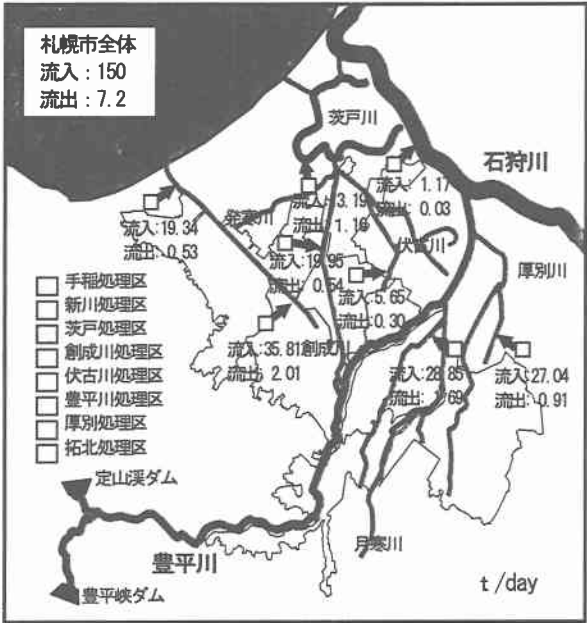


図-3 下水処理場毎のBOD 負荷量図  
(1996～2000 年のデータに基づく)

表-5 各下水処理場の緒元

|        | 下水排除方式 | 処理面積 (km <sup>2</sup> ) | 総人口 (人)   | 処理人口 (人)  | 普及率 (%) |
|--------|--------|-------------------------|-----------|-----------|---------|
| 創成川処理場 | 合流     | 20.6                    | 214,200   | 214,000   | 99.9    |
| 拓北処理場  | 分流     | 3.9                     | 18,000    | 18,000    | 100.0   |
| 伏古川処理場 | 分流     | 11.0                    | 76,200    | 76,100    | 99.9    |
| 豊平川処理場 | 合流+分流  | 49.4                    | 429,400   | 425,500   | 99.1    |
| 厚別処理場  | 分流     | 46.3                    | 318,400   | 316,900   | 99.5    |
| 新川処理場  | 分流+合流  | 37.2                    | 299,900   | 296,700   | 98.9    |
| 手稲処理場  | 分流+合流  | 50.4                    | 345,500   | 343,300   | 99.4    |
| 茨戸処理場  | 合流     | 18.4                    | 118,500   | 115,000   | 97.0    |
| 合計     |        | 237.2                   | 1,820,100 | 1,805,500 | 99.2    |

平成 12 年度 維持管理年報：札幌市下水道局<sup>9)</sup>より

ており、また、茨戸川に伏古川処理場、創成川処理場、茨戸川処理場から合わせて 1.99t/day が排出されており、これは全体の約 28%に当たる。したがって残りの約 36%が望月寒川や厚別川を経由して豊平川に放流されていることになる。

4.2 諸量の原単位

表-6、表-7 に札幌市での上水および地下水の使用量を示した。札幌市における一人当たりの上水の使用量は 275L/day/人で、全国平均 322L/day/人（国土交通省ホームページより）より低

表-6 上水道使用量と原単位（1996 年度～1999 年度の平均）

| 取水量                 | 給水量 (有効収量)          | 給水人口      | 一日一人当たりの取水量 | 一日一人当たりの使用量 |
|---------------------|---------------------|-----------|-------------|-------------|
| m <sup>3</sup> /day | m <sup>3</sup> /day | 人         | L/day/人     | L/day/人     |
| 558,702             | 492,342             | 1,808,644 | 312         | 275         |

平成 13 年度版 札幌市統計書；札幌市企画調整局<sup>7)</sup>より

表-7 地下水揚水量と原単位（1996 年度～1999 年度の平均）

| 地下水揚水量              | 人口一人当たりの使用量 |
|---------------------|-------------|
| m <sup>3</sup> /day | L/day/人     |
| 106,320             | 60          |

平成 12 年度 札幌市の環境；札幌市環境局<sup>3)</sup>より

表-8 各下水処理場での BOD 負荷量

|        | 流入負荷量<br>t/day | 放流負荷量<br>t/day | 処理人口 1 人あたりの負荷<br>g/day/人 |
|--------|----------------|----------------|---------------------------|
| 創成川処理場 | 19.0           | 0.54           | 89                        |
| 拓北処理場  | 1.2            | 0.03           | 67                        |
| 伏古川処理場 | 5.7            | 0.30           | 74                        |
| 豊平川処理場 | 28.8           | 1.69           | 68                        |
| 厚別処理場  | 27.0           | 0.91           | 88                        |
| 新川処理場  | 35.8           | 2.01           | 122                       |
| 手稲処理場  | 19.3           | 0.53           | 70                        |
| 茨戸処理場  | 13.2           | 1.16           | 85                        |
| 合計（平均） | 150.0          | 7.16           | 83                        |

い値を示した。これは、札幌市が他の都市と比較し、工場用水量が少ないことが要因と考えられる。また、地下水の使用も含めた一人当たりの札幌における使用量は 335L/day/人であり、実際、取水量と給水量の間には漏水によるロスがあるため、一人当たりの取水量（原単位）は 372L/day/人となる。

次に表-8 に各下水処理場への流入 BOD 負荷と原単位を示した。各処理場ごとにばらつきが存在するが、平均すると札幌市での人口 1 人当たりの BOD 負荷量は 83g/day であった。

5. 豊平川の水質汚濁負荷に関する考察

以上のような、水量や汚濁負荷量をもとに、現在の水質を維持するために必要な水量についてまとめ、丹保<sup>6)</sup>によってまとめられた 1980 年ごろの値と比較を試みた。

5.1 必要水量の計算

必要水量には生活用水などに用いるために必要な水資源量のほかに、流域の水環境を健全に保つために必要な環境用水としての水量がある。

はじめに、用水に関する水量として、人口一人当たり to 供給可能な水資源量と必要な水源面積を計算した。豊平川上流域での降水量は年間 2,100mm/year、石山地点における流出高は 1,590mm/year であり、その流出率は 76%になる。また石山での平均流量/濁水流量が 3.9、札幌市の全人口が約 182 万人であることより、1 人当たり to 供給可能な水資源量は 338L/day/人 [=1.59 (m/year) × 550 × 10<sup>6</sup> (m<sup>2</sup>) ÷ 1,820,000 (人) ÷ 365 (日) × 1000 (L/m<sup>3</sup>) ÷ 3.9] となる。

また、濁水流量を基準とした一日当たりの流出高は約 1.12mm/day であり、札幌市の取水量の原単位が 312L/day/人であることから、人口一人当たりの用水に必要な水源面積は 279m<sup>2</sup>/人という結果になる。

次に、水環境を保全するために必要な水量について試算をした。豊平川は上流域で AA 類型、中流域で A 類型、下流域で B 類型の指定がされている。この下流域 B 類型 (BOD ≤ 3mg/L) を満足させるには、一人当たりの BOD 負荷原単位を 83g/day/人とし、下水処理場での BOD の除去率を 95%とすると、約 1,383L/day/人の希釈水が必要となる。濁水流出時にこの水量をまかなうとした場合、約 1,240m<sup>2</sup>/day/人の水源面積が必要になることになる。

この結果より、現在の札幌市の人口 182 万人を、豊平川流域だけの水代謝でまかなおうとしたとき、環境基準 B 類型をクリ

アするために必要な集水面積は約 2,250km<sup>2</sup> と、豊平川流域 (960km<sup>2</sup>) の約 2.3 倍の集水域を必要とする。

しかし、現在の豊平川は下流部で BOD75%値が 2.5mg/L (図-4 参照) と環境基準をクリアしている。これは、前述した様に発生した汚濁物質や下水処理水を新川や荻戸川へ放流しているためであり、その結果、これらの河川では、河川流量の大半を下水処理水が占めている状況にある。

5.2 過去の検討結果との比較

今回の考察によって得られた結果と丹保<sup>9)</sup>によって報告されている値を比較した結果を表-9 に示す。一人当たりの生活水量が若干異なるが、これは 1980 年代当時に比べ生活水量が多くなっていることに起因する。

また、環境用水としての必要集水域が、丹保らの報告に比べ豊平川の場合、約 1.4 倍多い値になっているが、この要因とし

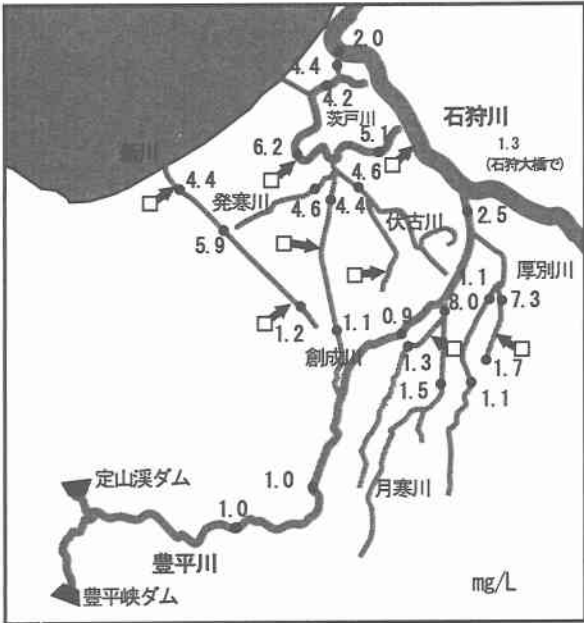


図-4 豊平川周辺の水質 (BOD75%値) 状況 (1996～2000 年度のデータに基づく)

表-9 さまざまな条件下での必要集水面積

|                                     |               | B 類型                   | C 類型  | D 類型  | 豊平川<br>(B 類型) |
|-------------------------------------|---------------|------------------------|-------|-------|---------------|
| BOD 濃度 (mg/L)                       |               | 3                      | 5     | 8     | 3<br>(中沼)     |
| 一人当たりの生活水量<br>(L/人/day)             |               | 280                    |       |       | 312           |
| 一人1日の発生 BOD<br>(g/人/day)            |               | 50                     |       |       | 83            |
| 下水濃度 (mg/L)                         |               | 178                    |       |       | 208           |
| 下水処理効率95%としたときの<br>必要希釈水量 (L/day/人) |               | 833                    | 500   | 313   | 1,383         |
| [用水+希釈水]受水域<br>[用水]受水域              |               | 3.0                    | 1.8   | 1.1   | 4.0           |
| 河川流量<br>: 都市用水量                     |               | 2:1                    | 0.8:1 | 0.1:1 | 3:1           |
| 必要<br>集水<br>地域                      | 用水条件<br>(㎡/人) | 300<br>(平均流量/喝水流量=2.5) |       |       | 279           |
|                                     | 下流条件<br>(㎡/人) | 900                    | 540   | 330   | 1,240         |

※豊平川の値は、BOD 3mg/L を達成するための条件

ては、①今回用いた一人当たりの発生 BOD の値が、下水処理場に流入してくる実績 BOD 量から求めたものであり、家庭雑排水以外の BOD 負荷があるため高くなっている。②また、このほかにも、用水条件として丹保らは、平均流量/濁水流量=2.5 という値を使用しているが、これは、流量の平滑化が十分な流域の値であり、現実には豊平川集水域ではこの値が 3.9 程度となっているため、同じ水量を得るためにより多くの集水域を必要とすると考えられる。

以上の結果、丹保ら<sup>2)</sup>によって計算された B 類型の環境基準を満足するための河川流量：都市用水量=2：1 に対し、豊平川流域では 3：1 (豊平川流域のみで札幌市の用水がまかなわれる場合) というより厳しい値が得られた。しかしながら、負荷量の 64%を豊平川以外に分担させているため、豊平川自身は環境基準をクリアしている。すなわち 36%の BOD 発生負荷を環境基準 B 類型を満足するように希釈するには 812km<sup>2</sup>[=1240 (m<sup>2</sup>/人) × 1,820,000 (人) × 0.36] の水源面積があればよく、これは実際の流域面積 960km<sup>2</sup> より小さい。

6. まとめおよび今後の課題

本研究では、豊平川流域の水循環について整理をした。その結果を以下にまとめる。

- ① 豊平川上流の集水域では、年間 2,100mm/year の降水量があり、その 76%が流出している。
- ② 豊平川から上水用に取水された水量の約 1/3 が再び豊平川流域に戻されるが、残りの 2/3 は人工の循環系によって他流域に輸送されている。
- ③ ②の人工の循環系によって札幌市で発生した汚濁物質の 2/3 が他流域に排出されることによって、豊平川下流の BOD の環境基準がクリアされている。

今後の課題としては、今回考慮しなかった雨天時の流出や他の物質循環および地下水に関するデータを加え、水循環の全体像をより明らかにし、健全な水循環系のあり方、水管理について考えていきたい。

謝辞：本研究の一部は、平成 14 年度北海道開発局受託研究費の補助を受けて実施された。また、札幌市下水道局と札幌市上水道局からは、資料を提供していただいた。さらに放送大学丹保学長には本研究に対し貴重な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献：

- 1) 札幌市下水道局；維持管理年報 (1989～2000)
- 2) 札幌市上水道局；札幌市水道水量水質年表 (1996 年～2000 年)
- 3) 札幌市環境局；札幌市の環境、平成 12 年度測定結果
- 4) 財北海道河川防災研究センター；平成 10 年度 豊平川物質循環検討業務報告書
- 5) 口澤寿、中津川誠；森林域の熱・水フラックスを考慮した積雪と蒸発散の推定、平成 13 年度 土木学会北海道支部論文報告集、第 58 号、pp. 358-361
- 6) 丹保憲仁；都市と自然系を連ねる水システムの質の使い分け、環境システム研究、Vol. 16, 1988 年 8 月、pp. 1-7
- 7) 札幌市企画統計局；平成 13 年度札幌市統計書

## 平成13年度 土木学会北海道支部奨励賞

昭和36年度に制定された土木学会北海道支部奨励賞授与規定により、平成13年度選考委員会委員として5氏が支部長の委嘱を受け、平成14年3月26日佐藤浩一氏を委員長とする選考委員会を開催し論文報告集第58号に掲載された287編の中から慎重な審査の結果、次の4編を授賞の対象として選考し、平成14年4月10日の商議員会において土木学会北海道支部奨励賞を授与することを決定した。

|          |                  |         |
|----------|------------------|---------|
| 選考委員会委員長 | 北海道大学大学院工学研究科教授  | 佐藤 浩 一  |
| 選考委員会委員  | (独)北海道開発土木研究所理事長 | 齋藤 智 徳  |
| "        | 室蘭工業大学工学部教授      | 藤 間 聡   |
| "        | 室蘭工業大学工学部助教授     | 田 村 亨   |
| "        | 北海道大学大学院工学研究科教授  | 長谷川 和 義 |

### 受賞者

「縮約階層分析理論の提案と今後の展望」

\* 鈴木 聡士

(北海学園大学大学院)

「森林域の水・熱フラックスを考慮した積雪と蒸発散の推定」

\* 口澤 寿

(共著 中津川 誠)

(株)福田水文センター)

(北海道開土研)

「凍結防止剤によるコンクリートのスケーリングに及ぼす養生・乾燥の影響」

\* 遠藤 裕丈

(共著 田口 史雄、嶋田 久俊)

(北海道開土研)

(北海道開土研)

「水中浮遊式トンネルの波浪動揺特性に関する解析的検討」

\* 佐藤 太裕

(北海道大学大学院)

(学術上)

論文名 縮約階層分析理論の提案と今後の展望  
(論文集第58号—pp. 586～589)

受賞者名 鈴木 聡士

#### 選考理由

近年、社会基盤整備に係わる計画策定そしてその評価が大きく問われる中、特に都市・交通環境計画分野においてはP I (パブリック・インボルブメント) 等地域住民参加型計画プロセスがきわめて重要視されてきている。

その際、住民参加型の計画策定における合意形成の支援として意識調査分析法が開発され、その一つとしてAHP (階層分析法) が注目されかつ多用されてきた。しかし、この方法は、分析プロセスにおいて一対比較法をベースとしているため、アンケート等意識調査において評価要因や代替案が多い場合被験者への過度な評価負担に問題点があった。

本論文は、既存のAHPの特徴を保持しつつ評価プロセスを縮約することにより、既存評価法と同等の評価結果を得つつ、その問題点を大幅に改良し得る極めて独創的な縮約階層分析法を提案したものである。

本研究では、具体的に3つのAHP発展理論・手法が提案された。それは一つに、順位尺度型AHPとして、従来の一対比較の代わりに各評価要因間の評価を順位尺度を設定しそれによって評価を行う方法である。二つ目は、精神物理学の成果に着目した意味論的评价法である。三つ目は、評価要因の重要度を数直線上の「位置データ」として被験者の評価意識構造を評価・分析する相対位置評価法である。これら改良された評価手法の理論構築をするとともにその手法の信頼性を札幌都市圏におけるショッピング・コンプレックスや歴史的建築物の評価を対象として検証し、極めて信頼性が高く有用であることを実証したものである。

このように本論文は、斬新なアイデアにもとずき従来AHPを大きく発展させた評価・分析手法を提案しており、これからの土木計画学の計画策定段階における住民参加型システムにおける評価分析手法として多大な貢献が期待される。

よって、本論文は、土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。

(学術上)

論文名 森林域の水・熱フラックスを考慮した積雪と蒸発散の推定  
(論文集第58号—pp. 358～361)

受賞者 口澤 寿 (共著者：中津川 誠)

#### 選考理由

北海道における年間降水量は、その半分以上が降雪によるものである。これらの効率的な水管理のためには、積雪量および融雪量の的確な把握とともに蒸発散量の正確な推定が不可欠である。しかし、冬期積雪期間におけるそれらの知識は、夏期などのそれに比して非常に限られたものになっているのが現状である。本研究では、定山溪ダム流域を対象にして以下の検討をおこなっている。

- 1) 流域任意地点における降水量を標高とテレメータデータとの重相関式によって推定し、その平均がテイセン法による値によく一致することを確認した。
- 2) 判別温度によって降雪・降雨を区分し、降雪量をダム管理所における実測値から相関式によって推定した。
- 3) 近藤式をもとにしたバルク法によって2層モデルの蒸発散量推定をおこない、また熱収支式から融雪量を求めた。その際、積雪の有無によるアルベドの違いを実測値によってあたえた。
- 4) 得られた融雪量、積雪水量から独自の密度式を用いて積雪深を算定し、実測値とのチェックによってモデルの成立性を確かめた。
- 5) 2層モデルによる蒸発散の推定結果を年間降水量と流出量の差から求めた蒸発散量と比較し、両者が一致することを確認して、遮断蒸発が全蒸発散量の35%におよぶことなどの新知見を得た。

以上のように、本論文は手法的に新しいものではないが、各種の流域データの丁寧な解析と既往式による詳しい計算により、積雪の有無による水・熱フラックスへの影響、および蒸発散量とその中身の構成を明らかにしている。これらは、北海道における年間を通じた水管理をおこなう上で大きな貢献をなすものである。よって本論文は土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。

(学術上)

論文名 凍結防止剤によるコンクリートのスケーリングに及ぼす養生・乾燥の影響  
(論文集第58号—pp. 818～821)

受賞者名 遠藤 裕丈 (共著者：田口 史雄、嶋田 久俊)

#### 選考理由

スパイクタイヤの使用禁止に伴い、路面の凍結防止策として凍結防止剤の使用量が急増した。環境にやさしい凍結防止剤の開発等も進められたが、まだ、経済的で凍結防止効果が高い NaCl などの塩化物の使用が主流である。しかし、これら塩化物の散布は、コンクリート表面を剥離（スケーリング）させる凍害劣化を著しく促進させるため、この劣化抑制対策の確立が喫緊の課題である。しかし、スケーリング劣化の挙動は極めて複雑で十分解明されているとは言い難く、劣化抑制対策を検討するために必要な劣化挙動の特性把握、解明が必要である。

これまで筆者らは、水セメント比などのコンクリート配合条件に着目して実験的研究を長期的に行い、スケーリング挙動の特性を明らかにしてきたが、本論文では、さらに、実構造物においては打設から凍結融解作用を受けるまでの日数および湿度などの環境条件が様々であることに着目し、湿気養生日数、凍結融解作用を受けるまでの気中放置日数をパラメータとして実験を行った。その結果、湿気養生日数が長いコンクリートが通常の淡水による凍結融解作用を受けると、セメントの水和反応促進によりコンクリート組織が緻密化してスケーリング抵抗性が向上するが、一方、NaCl が加わった凍結融解作用の場合、コンクリート表面に滞留する余剰水分が多い場合は部分的に激しくスケーリングが早期に発生する結果を得た。このことは、NaCl によるスケーリング挙動特性を論じるには、余剰水分と NaCl との間に発生する濃度差に起因する応力の影響が極めて重要であり、その影響は細孔組織の緻密性を卓越する場合があることを指摘した。また、気中放置日数が長いコンクリートが NaCl による凍結融解作用を受けると、長期の乾燥を受けて表面薄層に微細なクラックが生じて組織が著しく脆弱化している場合、脆弱化した表面薄層が早期にスケーリングすることを確認した。さらに、この劣化挙動が淡水では確認されなかったことから、乾燥して脆弱化した薄層へ NaCl が浸透してコンクリート表層に濃度勾配を形成し、それに起因して発生する応力がスケーリング劣化に影響することも提唱した。

以上のように、NaCl によるスケーリング劣化に関しては、現在までコンクリートの配合条件に着目した研究は比較的行われているが、環境条件の影響に着目した研究は非常に少なく、極めて独創性が高い。また、この分野の研究は組織の緻密性に重点が置かれているが、コンクリートが凍結融解作用を受けるまでの環境条件が異なると、淡水と NaCl が作用する場合ではスケーリング挙動が異なり、淡水では組織の緻密性に主に支配されるものの、NaCl ではさらに余剰水分との間の濃度差の影響も受けること等を実

証した成果は、今後の劣化抑制対策を検討するうえでは極めて重要であることを示唆した。よって、本論文は、土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。

(学術上)

論文名 水中浮遊式トンネルの波浪動揺特性に関する解析的検討  
(論文集第58号—pp. 240～243)

受賞者 佐藤 太裕

#### 選考理由

水中浮遊式トンネルは、自重を上回る浮力を有するチューブ状の構造体（函体）を、テンションレグ等の係留索により海中に安定化させるもので、従来の渡海技術にはない特徴を有する新規渡海構造物として注目されている。しかし、水中浮遊式トンネルは、従来の構造物と異なり、その重量、剛性、係留形式などによって、発生する変位や断面力が大きく変化する特性を有しており、その設計は従来の構造物に比べて一段と複雑になると考えられる。そのため、初期計画における基本構造諸元の決定に必要な情報を効率的に引き出すために、比較的良好な精度で全体挙動の基本特性を把握することが望まれている。

以上のような背景のもと、水中浮遊式トンネルを弾性基礎上の梁に単純化して取り扱う方法を用いて、設計における重要な検討事項の一つである波浪応答に対して、固有周波数の存在範囲、共振時のピーク高さなどの動揺特性の巨視的な把握を試み、以下に記す注目すべき成果を導き出している。

- 1) 固有周波数について：係留索ばねのみによる応答モードが最低次の周波数を与え、トンネル函体の変形が関与するものは全てこの値より高くなることを明らかにした。
- 2) 非共振領域の応答ピーク値について：斜め入射波浪を受ける場合について、曲げモーメントの振幅ピーク値とそのピーク値をとる波周波数の評価式を提示した。
- 3) 共振領域の応答ピーク値について：共振時の応答振幅の評価式を提示し、ピーク高さは周波数に逆比例して減少し、さらに加振パターンと固有モード形状の内積に依存することを明らかにした。

以上の成果は、水中浮遊式トンネルの設計手法の確立に寄与するところ大なるものがあり、よって本論文は土木学会北海道支部奨励賞を受ける資格があるものと認められる。