

災害復旧までの応急給水源としての地下水利用に関する研究

—— 酪農学園の専用水道利用の可能性 ——

中 谷 暢 丈^{1,2)*}・今 聖一郎²⁾・山 梨 光 訓¹⁾

Potential of groundwater as emergency water resource until restoration after disaster
—— Considering potential of Rakuno Gakuen private water supply ——

Nobutake NAKATANI^{1,2)*}, Seiichiro KON²⁾ and Mitsunori YAMANASHI¹⁾
(Accepted 10 July 2017)

1. はじめに

上水道は、市民の生命や生活の維持に必要不可欠な水を供給するインフラ施設として重要な存在である。古くは流下する河川水、井戸水や湧水を水源として飲料水や雑用水等に利用していた¹⁾が、現在では取水施設をはじめ、浄水施設、貯水施設、導水施設等を含めた水道施設が普及している。実際、1950年以降から2000年にかけて簡易水道と専用水道を含めた水道事業が全国において急激に普及し、2015年度の普及率は97.9%となっている²⁾。北海道においても、平成28年(2016年)3月31日時点で上水道、簡易水道および専用水道を合わせた給水人口は526万人を超え、その普及率は98.3%となっている。中でも上水道事業と簡易水道事業を併せた水道事業は、給水人口の99%以上を占めており、都市機能維持における水供給を支えている。いいかえると、市民の生活は上水道や簡易水道に依存していることを意味している。

一方、水道水に関しては安全かつ安定的な供給の必然性がありながらも、渇水や地震等を含めた自然災害による断減水、水質汚染事故といった量や質、安全性にかかわる問題は毎年発生している。近年の阪神・淡路大震災³⁾や東日本大震災⁴⁾では地震に伴う配水管や水道設備の破損・損壊による断水が起こったほか、台風や豪雨災害においても水道設備の破損や損壊⁵⁾による断水が発生している。これに対して、過去の経験や既存の緊急対策マニュアルを活

用することで臨機応変な対応が行われるとともに、水道事業者が想定すべき事前対策、自治体の他部局や医療機関、避難所が連携し、各個人や施設による備えまで含めた総合的で継続的な危機管理体制の整備等が提案されている^{6,7)}。

2014年9月に起きた支笏湖周辺での集中豪雨では、山間部からの洪水の流入に伴う大量の流木と土砂の漁川ダム貯水池への流入とともに、下流の千歳川の濁度上昇による上江別浄水場での取水停止によって、江別市の上水道は9月11日20時20分から完全復旧された9月14日10時までの約3日間断水となった。これにより、江別市の約60%に相当する33,400世帯、75,000人の市民が断水被害を受けた。2014年(平成26年)11月に発表された「断水災害に関する報告書」⁸⁾には、この断水発生と対策の状況が詳細に述べられると共に、断水に対する市民のさまざまな意見や提案などが報告されている。その中で、応急給水活動においては給水所運営方法を検討し、適切な応急給水体制の確立を図るとともに、地下水利用者などとの災害時協力について検討を進めるとしている。

酪農学園は、後背に広がる野幌森林公園の名で知られる野幌丘陵の地下水を水源とした専用水道を利用している。そのため、先述の断水災害発生時においても、通常通りに学内に水道水を供給することが可能であった。これに着目し本研究では、災害などの緊急時における応急給水源として地下水を利用している酪農学園専用水道の利用可能性について検証

¹⁾ 酪農学園大学大学院酪農学研究科

Graduate School of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, 582 Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類水質化学研究室

Laboratory of Water Chemistry, Department of Environmental and Symbiotic Science, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, 582 Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

* Corresponding author

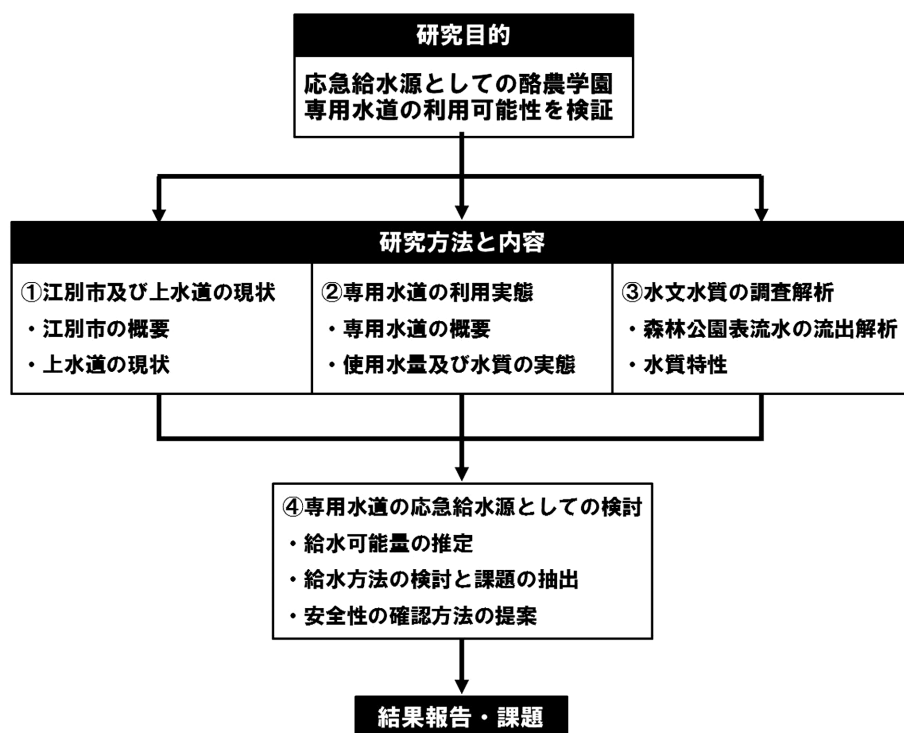


図 1 本研究のフロー。

表 1 本研究で参考にした酪農学園専用水道に関する資料およびメモ。

資料名	年または年度
酪農学園専用水道事業変更認可申請書	昭和 40 年
学校法人酪農学園新設深井戸工事に伴う揚水設備工事報告書	昭和 54 年
学校法人酪農学園 No.1 井改修工事報告書	平成 21, 24, 27 年
学校法人酪農学園 No.2 井改修工事報告書	平成 22, 25 年
学校法人酪農学園 No.3 井改修工事報告書	平成 20, 23, 26 年
水道使用量一覧表	2011 年度～2015 年度
水道維持管理月報	2011 年度～2015 年度
水質検査結果表	2014 年 4 月～2015 年 3 月

を行った。本研究のフローを図 1 に示す。まず、①江別市及びその上水道の現状および②酪農学園専用水道の使用実態を把握するため、各種資料や文献を用いて取りまとめを行った。さらに、③専用水道の水源である野幌丘陵の野幌森林公園における流出解析と水質調査を行い、対象地域の水文水質過程に関する考察を行った。これらをもとに、④応急給水源としての酪農学園専用水道の給水可能量や給水方法の検証を行った。

2. 方 法

2.1. 江別市と上水道の概況

本研究の基本情報となる野幌森林公園を含めた江別市ならびにその上水道の概況については、江別市水道部からのお知らせを含めた江別市ホームペー

ジ⁹⁾の掲載資料や気象庁の気象データ¹⁰⁾、その他既往の学術論文を参考に取りまとめを行った。

2.2. 酪農学園専用水道の概況

専用水道水源として地下水を利用している酪農学園の大学施設課より資料およびメモ（表 1）を提供してもらい、専用水道の概況と水道水量および水質の状況を整理した。

2.3. 野幌森林公園内の河川の水文水質および酪農学園専用水道水質の調査

野幌森林公園内の林道大沢コースと交差し、大沢の池（溜池）に流れ込む河川（設置時の水面幅約 0.8 m, 平均水深 0.04 m）に自記水位計を設置した。2015 年 10 月 3 日から 2016 年 2 月 20 日までの期間にお

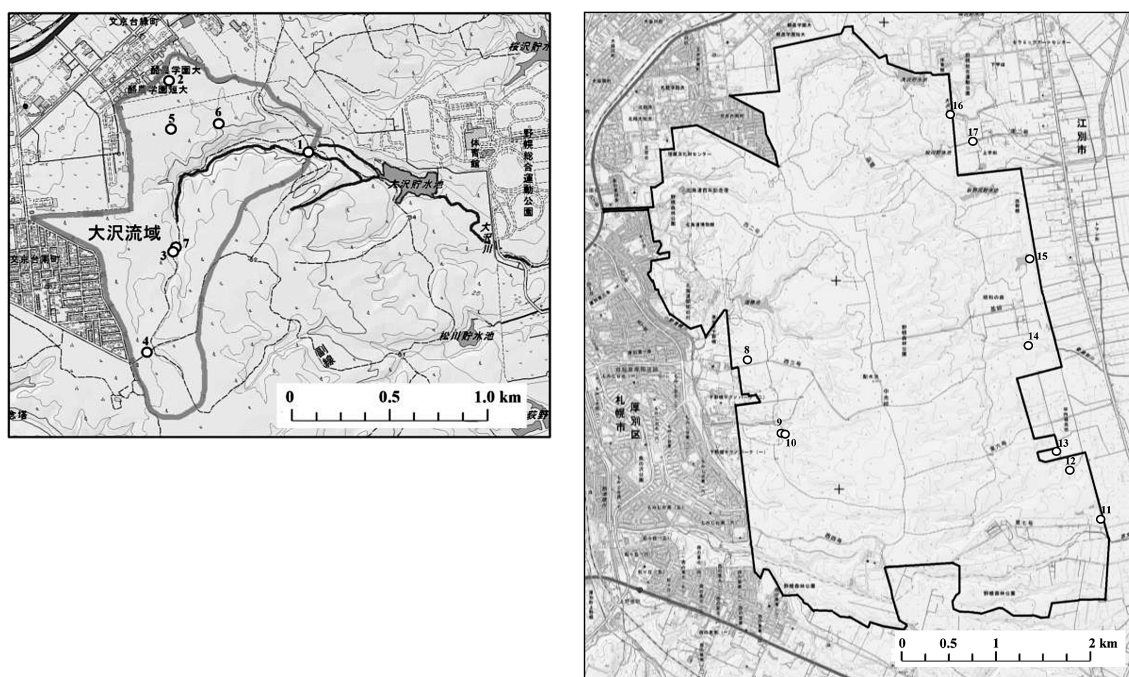


図2 野幌森林公園における水質調査地点（計17測点）。
 左：大沢流域内の測点，測点1は水位観測点でもある。
 右：野幌森林公園流域内の測点（大沢流域以外）。
 地理院地図¹¹⁾より作成。

いて水位観測を行った(図2)。この水位観測地点(測点1)における流域面積は0.946 km²あり、これを本研究では大沢流域とした。なお観測期間のうち、10月24日以降の水位は機器の故障により欠測したので、解析に使用する水位データは10月3日から10月24日に起きた流出を対象とした。また、水位観測地点で河川用電磁流速計(AEM1-D, JFE Advantec社製)を用いて10月17日、10月24日、11月23日の計3回流量観測を行ない、観測された流量から水位-流量曲線(H-Q式)を決定し、流量の時間変化(ハイドログラフ)を求めた。大沢流域の水位観測点では2015年10月から2016年2月にかけて計6回、この小河川の上流計6測点では2015年10月24日と11月7日の2回、現地水質観測と水質分析のための採水を行なった。さらに同年11月23日、野幌森林公園(20.53 km²)から流出する小河川計10測点において現地水質観測と採水を行なった。その際、GPS(Germin社製, GPSmap62s)を用いて調査地点を確認した。現地では、気温と湿度(Vaisala社製, HM34)、水温と溶存酸素(飯島電子工業社製, ID-150)、水素イオン指数(pH)と電気伝導度(EC)(東亜DKK社製, WM-32EP)、酸化還元電位(ORP)(東亜DKK社製, RM-30P)を計測した。また、専用水道水質に関連して、酪農学園専

用水道ポンプ室より塩素殺菌前の原水(以下、地下水)、飲料水として大学学内の蛇口より供給されている水道水を採取した。水試料についてはクーラーボックス内で保冷剤を用いて冷却しながら研究室に持ち帰り、孔径0.45 μm シリンジフィルター(ザルトリウス社製)でろ過した後、イオンクロマトグラフィー(ダイオネクス社製, IC-20)にて主要陰イオン(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)および陽イオン(Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, Ca²⁺)を測定した。また、JIS K 0101工業用水試験方法に従い、ろ過の試料水についてアルカリ消費量を測定した後、これを炭酸水素イオン(HCO₃⁻)濃度に換算した。また、野幌森林公園内の積雪を層別に採取し、自然融解後にろ過したものについてイオン成分の測定を行なった。

3. 結果と考察

3.1. 江別市、野幌森林公園および上水道の概況

江別市は石狩平野の中央部に位置し、全体的に平坦な地形で、総面積は187.57 km²と道央圏では札幌市に続く規模の市となっている。人口は現在約120,000人、約56,000世帯が生活している。道内最大の河川である石狩川の下流部にあって、千歳川と夕張川の合流点でもあり、かつては港が栄え、河川とともに生きてきた町である。江別市における2006

表 2 江別の月別降水量 (mm)。

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
2006 年	119	73	73	46	72	79	59	49	75	64	121	97	927
2007 年	73	51	24	35	79	87	57	92	190	48	60	47	843
2008 年	74	57	21	7	63	41	86	91	38	84	55	80	695
2009 年	51	58	41	44	38	122	201	47	53	99	85	43	880
2010 年	55	51	38	71	56	86	150	220	98	71	152	53	1099
2011 年	165	42	29	96	66	45	124	143	217	140	66	101	1232
2012 年	77	32	19	43	71	41	48	125	179	72	144	127	976
2013 年	61	72	39	56	61	61	56	211	184	102	130	90	1120
2014 年	85	21	29	22	31	90	71	176	132	90	30	80	855
2015 年	70	35	66	72	59	144	83	90	165	71	77	77	1007

資料：気象庁 AMeDAS より作成。

年から 2015 年までの 10 年間における平均気温は 7.4℃と北海道では比較的温暖な地域である。また同 10 年間の平均年降水量は約 963 mm と 7 月～9 月に降水が集中する傾向が見られた(表 2)。また, 11 月下旬から翌年 4 月初旬までが降雪期となっている。

江別市南部には札幌市・江別市・北広島市の 3 市にまたがる野幌丘陵がある。この丘陵は, 石狩低地帯の中央へ半島状に突き出た高地となっており, 地形のうえでは幅約 5 km, 長さ約 20 km であり, 低地に対して 100 m 弱の比高をとっている。この丘陵の成因は第四期以降におきた地殻の隆起にあるといわれている。地質は, 小野幌層と呼ばれる下部洪積統であり¹²⁾, 浅海性ないし陸域に堆積した礫, 砂, 粘土, 火山灰, 泥炭などの累層となっている¹³⁾。酪農学園専用水道 2 号井で掘削された際の柱状地質図 (図 3) をみると, ほとんどは透水性が高い砂層や礫層であったが, 地下水面下では帯水層をなしていた。表層土壌は, 細粒質の暗色表層酸性褐色森林土もしくは中粒質の暗色表層擬似グライ土からなる¹⁴⁾。この野幌丘陵地には, 1968 年に指定された面積約 2,053 ha の道立自然公園野幌森林公園を有している。この公園は, 森林 1,736 ha のほか, 北海道博物館 (旧北海道開拓記念館), 北海道開拓の村や北海道百年記念塔などがある記念施設地区 (180 ha) と森林の南端部に介在する私有農地 (136 ha) などから構成されている¹⁵⁾。森林公園の大部分を占める国有林のうち約 1,000 ha は天然林である。その林相はトドマツを主体とした針葉樹林, 多様な落葉広葉樹で構成される広葉樹林, トドマツと落葉広葉樹が混在した針広混交林に区分され, 自生する木本植物は針葉樹 5 種, 広葉樹 103 種と多い¹⁵⁾。

江別市の上水道は, 千歳川を原水とする上江別浄水場系統と, 恵庭市にある漁川ダム湖水を受けた石狩東部広域水道企業団系統との計 2 系統からの配水

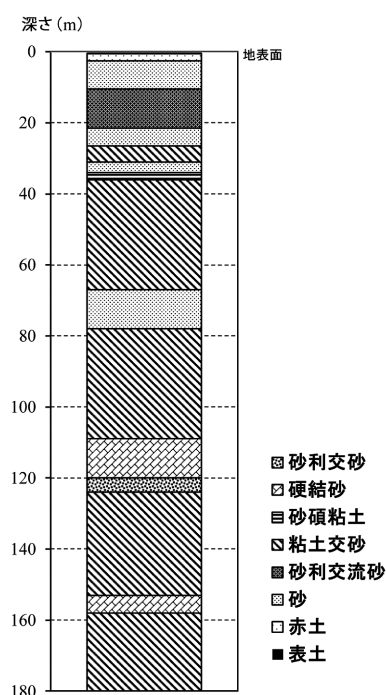


図 3 柱状地質図 (江別市西野幌 582)。

資料：学校法人酪農学園新設深井戸工事に伴う揚水設備工事報告書 (1979) より作成。

を受けて, 1 日平均給水量は約 32,000 m³ である。内訳は石狩東部広域水道企業団からの受水量が約 20,000 m³, 上江別浄水場において残りの約 12,000 m³ がまかなわれている。江別市内には 7 ヶ所 (上江別浄水場, 大麻高区配水池, 大麻低区配水池, 文京台ポンプ場, 江北ポンプ場, 豊幌ポンプ場, 西野幌ポンプ場) に配水池があり, これらから江別地区, 野幌地区 (文京台南町を含む), 大麻地区の 3 地区に配水されている。このように江別市は, 江別浄水場系統と恵庭にある漁川ダムから石狩東部広域水道企業団系統からの水源に依存し, 言い換えれば共に石

狩川水系千歳川及びその支流河川水に依存した水資源利用となっている。このほか市内には専用水道を利用している事業者があり、酪農学園も専用水道として後背に広がる野幌森林公園の地下水を利用して

3.2. 酪農学園専用水道の現状

現在の酪農学園専用水道は、野幌森林公園の末端に深さ 180 m の井戸を 3 本（1 号井、2 号井、3 号井）掘り、地下水を汲み上げた後、塩素殺菌し、学内水道設備により供給されている（表 3）。また停電時には非常用発電装置により、最低限の水量が確保される¹⁶⁾。対象居住人口は約 400 人（昼間約 5,500 人）に加え、家畜を含む農場にも供給されている。かつては学校関係以外への給水も行っていたが、昭和 62 年に停止している。配水タンクの容量は約 240 m³（7.8 m×7.8 m×4.0 m）となっており、配水タンクから加圧タンクに移送する際に塩素（末端で 0.4 ppm）が注入されている。

各井戸は、3 年に 1 度、浚渫、水中モーターポンプの分解・点検、揚水管のサビ止め塗装などの改修工事が行なわれており、最終的に段階揚水試験により安定した取水機能の維持が確認されている。なお、それらの段階揚水試験の結果では、いずれの井戸においても明確な水位降下の変曲点（限界点）は見ら

れず、試験範囲内の限界揚水量は見当たらなかったが、2 号井戸のみ揚水量が 400 m³/日を超えると濁度が高くなる点が記載されていた。

2011 年度から 2015 年度の水道使用量一覧表（ただし、2015 年度は、2015 年 4 月～2016 年 2 月末まで）によれば、酪農学園専用水道年使用量と月使用量から求めた日平均使用量の推移はそれぞれ図 4 および図 5 となる。この値は水道ポンプ室から学園敷地内に給水した水量であり、専用水道としての地下水取水量を示したものではないが、概ね同等量と考えられる。水道ポンプ室と各部局の合計年間使用量は、約 220,000 m³（2014 年度）、日平均使用量約 580 m³（2015 年度）となっていた。また、最近の専用水道使用量は年々減少傾向にあることが認められた。これは、学内施設や寮の整備によって学園全体の水使用量が減少したためである。また、月使用量から求めた日平均使用量は 500～800 m³ の範囲にあったが、水道維持管理月報における実績の最大給水量として 1,023 m³（2016 年 2 月）が記載されていた。さらに、水道水質検査については、江別市飲用井戸等衛生対策要領第 8 条に基づき地下水浄水（生協厨房）を対象に毎月実施されており、いずれの水質検査項目においても水道水質基準に適合していた。

3.3. 水文水質の調査解析

3.3.1. 野幌森林公園からの流出機構

観測期間内には 3 つの降雨があり、10 月 8 日 13 時～10 月 9 日 15 時までの降雨による流量増減をピーク 1、10 月 11 日 11 時～15 時までの降雨による流量増減をピーク 2、10 月 13 日 10 時～10 月 14 日 7 時までの降雨による流量増加をピーク 3 として解析した（図 6）。各ピークの通減部の第 2 折れ曲がり

表 3 酪農学園専用水道用井戸の概要。

名称	事業認可年	外筒管径 mm	深さ m	日揚水性能 m ³ /day
1 号井戸	昭和 40 年	300	180	850
2 号井戸	昭和 41 年	300	180	400
3 号井戸	昭和 54 年	300	180	850

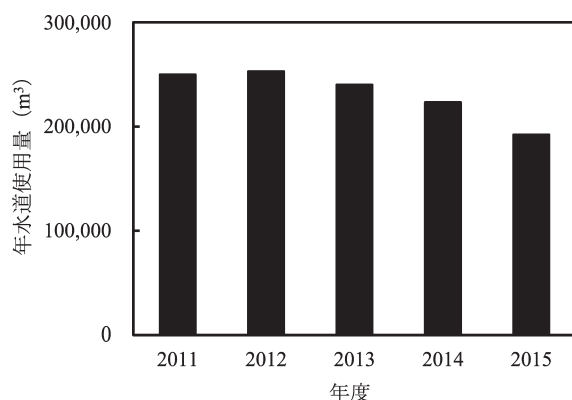


図 4 酪農学園専用水道の年水使用量の推移。

資料：酪農学園水道使用量一覧表（2011 年度～2015 年度）より作成。

2015 年度は 2015 年 4 月～2016 年 2 月末日まで。

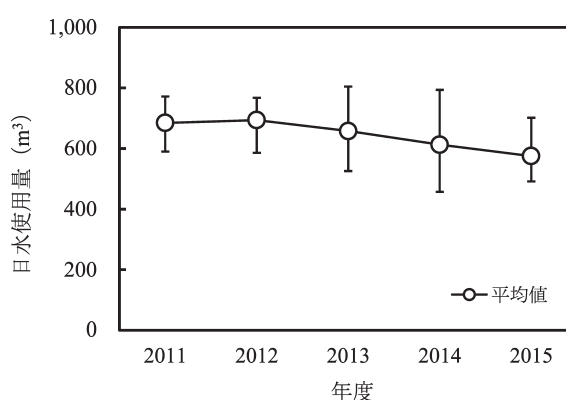


図 5 酪農学園専用水道の日水使用量の推移。

資料：酪農学園水道使用量一覧表（2011 年度～2015 年度）より作成。

図中のバーは、日最小値と日最大値を示す。

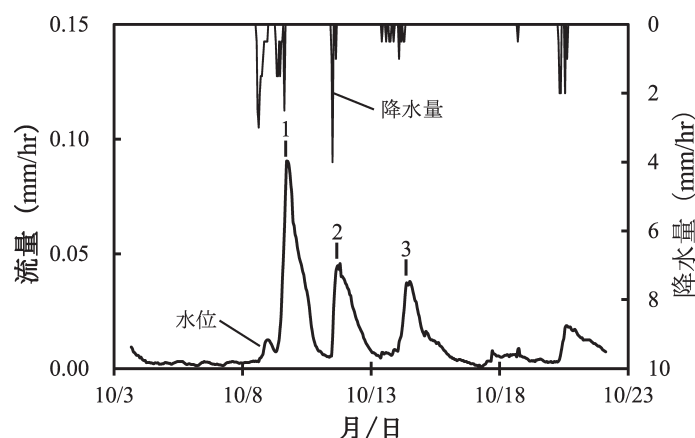


図6 観測期間の降水量とハイドログラフ（大沢流域，2015）。
降水量は，酪農学園の気象観測資料を使用。
図中の数字1～3は，解析した流出ピークを示す。

表4 大沢流域の流出解析結果。

	ピーク1	ピーク2	ピーク3
積算降水量 P (mm)	23.0	6.0	5.0
総流出量 Q (mm)	1.87	1.04	1.01
基底流出量 Q_b (mm)	0.43	0.30	0.33
直接流出量 Q_d (mm)	1.44	0.74	0.68
直接流出比 $f_e = Q_d/Q$	0.77	0.72	0.67
直接流出率 (%) $f_d = Q_d/P$	6.3	12.4	13.6

点と流量立ち上り点の2点を直線で結び，直線より上部を直接流出，直線より下部を基底流出として流出成分を分離後，直接流出成分を流域の降雨量で除して直接流出率，総流出量に対する直接流出量の比を直接流出比として求めた（表4）。

調査地域である野幌森林公園は間隙が多く水の浸透しやすい火山灰土層上¹³⁾にあり，降雨に対する直接流出率は低くなると予想される。また降雨によってもたらされた水の一部は蒸発するが，大半が地中に浸透するか地表面から河川に直接流出するものと考えられる。野幌丘陵の地層特性によって大半の雨水は地中に浸透し地下水となる。そして潤沢に蓄えられた地下水は基底流出として野幌森林公園内の小河川をはじめ，時間をかけて緩やかに野幌丘陵外の周辺河川へも流出すると予想される。大沢流域での直接流出率は，ピーク1において6.2%，ピーク2で12.4%，ピーク3では13.6%と増加傾向にあった。ピーク1の流量増加をもたらした降雨以前は4日以上早天で，直前に降雨があったピーク2，ピーク3と比較して土壌が乾燥しており，初期損失も大きくなり直接流出率が小さくなったものといえる。また，ピーク2および3は共にピーク1を起こした降雨に続く連続降雨によるもので，土壌水分が増加し

て直接流出の発生を促し，直接流出率が增大したといえる。各ピークの直接流出比（総流出量に対する直接流出量の比）は，ピーク1からピーク3にかけて減少傾向にあった。これはピーク1の流量増加をもたらした降雨によって地中水が涵養したことで，地中内の地下水圧が上昇して基底流出量が増加し，総流出に対する直接流出の割合が下がったものと考えられる。

このように直接流出率，直接流出比から野幌森林公園流域の流出特性は降雨に対して鋭敏な反応を示した。通水性の良い火山灰地層であるがゆえに，降雨に対する涵養量は多いが，無降雨時の基底流出，すなわち地下水流出は減少しやすく，河川水位は下がる。よって，野幌丘陵森林公園流域の表層透水層における地下水の賦存量は直前の降雨量によって大きく変動し，降雨が減少すれば地下水流出は小さくなるものと考えられる。

3.3.2. 野幌森林公園の河川水および地下水の水質特性

森林公園内の河川水について行った現地水質観測結果，季節的な日射量や気温の変動に伴う水温変化を除いて，概ね似た pH，EC，ORP 値であった（表

表 5 分析試料採水時の現地水質測定結果。

試料名	番号	採水月日	時間	気温 ℃	湿度 %	水温 ℃	DO mg/L	pH	EC mS/m	ORP mV
地下水		2月23日	—	—	—	—	—	—	—	—
水道水		10月29日	—	—	—	—	—	—	—	—
水道水		3月7日	—	—	—	—	—	—	—	—
水位観測点										
1	10月17日	10:25	—	—	—	—	—	—	—	—
	10月24日	10:08	10	83.1	7.0	8.1	6.36	6.85	203	
	11月7日	14:34	—	—	4.9	8.1	7.10	6.04	161	
	11月23日	15:00	3.2	58.9	3.2	9.0	6.86	5.68	236	
	12月20日	10:05	-1.3	56.7	1.0	9.8	—	—	—	
	2月20日	10:23	3.1	45.3	1.8	9.1	6.43	5.92	201	
大沢流域の小河川										
2	10月17日	10:40	—	—	11.3	7.3	—	—	—	
	11月7日	13:00	—	—	7.1	1.8	6.17	14.7	34	
3	10月24日	10:38	11.9	80.9	8.4	5.4	6.33	6.40	260	
4	10月24日	11:41	11.7	88.3	9.6	5.6	5.94	6.60	338	
	11月7日	15:37	—	—	6.3	4.7	6.26	4.71	202	
5	11月7日	13:44	—	—	7.1	7.4	7.06	6.48	184	
6	11月7日	14:07	—	—	5.5	10.0	6.97	8.33	155	
7	11月7日	15:19	—	—	5.4	8.1	6.80	5.68	154	
野幌森林公園流域の小河川										
8	11月23日	10:00	3.2	37.4	4.7	9.5	6.96	5.78	160	
9	11月23日	10:37	4.5	39.0	3.1	9.2	7.15	4.83	172	
10	11月23日	10:40	4.6	38.7	2.6	8.6	6.97	4.65	189	
11	11月23日	11:20	5.0	43.4	2.9	8.5	6.90	4.89	183	
12	11月23日	11:45	4.9	33.6	4.2	7.8	7.09	4.21	221	
13	11月23日	12:00	5.8	37.8	4.2	8.0	6.45	4.14	272	
14	11月23日	12:15	5.6	48.6	3.3	9.6	6.62	4.31	292	
15	11月23日	13:50	4.9	44.5	4.5	9.2	6.17	4.18	337	
16	11月23日	14:26	5.2	41.9	4.4	7.6	6.58	4.95	345	
17	11月23日	14:30	4.9	43.5	4.1	10.3	6.47	5.71	296	

—未測定

5)。唯一、大沢流域の河川支流の測点2において、EC値がほかのものに比べて2から3倍高い値となったが、後に述べるように、 NO_3^- 等のイオン成分濃度が高いことに由来していた。酪農学園専用水道水を含む主要イオン成分の測定結果では、井戸地下水および水道水ともに水質に大きな差異は見られなかったが、共通する水質特性として、 Na^+ と HCO_3^- 濃度が著しく高かった(表6)。水位観測点では計7回の採水を行なったが、森林公園内の河川水では井戸地下水及び水道水に比べて Na^+ と HCO_3^- 濃度は低く、逆に Ca^{2+} や Cl^- 濃度は高くなる傾向が見られた。さらに、微量ではあるが10月から2月にかけて NO_3^- 及び NH_4^+ 濃度が高くなった。このとき、森林公園内で採取した積雪のイオン成分を見ると、 NO_3^- 及び NH_4^+ 濃度は表層で高く、地面に接している下層で低くなった(表7)。これらのことから、無機窒素イオン成分は積雪中に比較的多く含まれて

いるが、地表面付近での地温融雪流出に伴うイオン成分の流出に加え、酸化蓄積していた土壌表面からの溶出^{17,18)}が起きているものと考えられた。一方、大沢流域及び森林公園の河川水については、EC値の高かった測点2を除いて、秋季の水位観測点の水質とほぼ同じ水質であった。地点2では、特に NO_3^- 濃度に加え、各種イオン成分濃度は高かった。この試料水の採取地点は酪農学園大学の施設(グラウンドや放牧地)に近接しており、これらから流出されたイオン成分の影響を受けている可能性が考えられた。

測定を行なった主要イオン成分濃度を用いて、そのイオン組成を示すトリリニアダイアグラムを作成したところ、酪農学園専用水道源となっている井戸地下水のイオン組成は、 Na^+ と HCO_3^- からなるアルカリ炭酸(NaHCO_3)型であり、停滞的な環境にある地下水^{19,20)}であった(図7)。これに対し、野幌

表 6 採水試料のイオン成分分析結果。

試料名	番号	採水月日	Na ⁺ μM	NH ₄ ⁺ μM	K ⁺ μM	Mg ²⁺ μM	Ca ²⁺ μM	Cl ⁻ μM	NO ₃ ⁻ μM	SO ₄ ²⁻ μM	HCO ₃ ⁻ μM
地下水		2月23日	1109	25.1	273	138	66	156	4	71	1490
水道水		10月29日	1145	4.9	281	159	69	202	7	72	1480
水道水		3月7日	1192	<1.5	278	141	66	200	7	69	1480
水位観測点											
	1	10月17日	314	1.6	83	107	154	287	<1.0	82	430
		10月24日	316	1.9	83	114	166	293	<1.0	84	460
		11月7日	320	<1.5	57	108	146	274	<1.0	86	380
		11月23日	309	<1.5	40	91	130	381	4	66	280
		12月20日	399	4.9	66	104	137	361	10	73	310
		2月20日	328	15.2	102	102	142	480	22	63	300
大沢流域の小河川											
	2	10月17日	337	3	56	337	428	591	200	162	750
		11月7日	528	70	108	180	271	332	178	87	970
	3	10月24日	298	4	28	73	95	299	<1.0	47	250
	4	10月24日	317	<1.5	24	58	74	291	<1.0	57	200
		11月7日	337	<1.5	22	62	76	306	<1.0	56	140
	5	11月7日	344	<1.5	23	97	112	483	5	59	170
	6	11月7日	381	<1.5	46	153	208	451	5	63	550
	7	11月7日	312	<1.5	24	82	107	408	<1.0	41	210
野幌森林公園流域の小河川											
	8	11月23日	300	<1.5	14	85	110	413	<1.0	58	160
	9	11月23日	322	<1.5	40	66	89	300	<1.0	51	250
	10	11月23日	324	<1.5	42	69	88	316	<1.0	50	210
	11	11月23日	289	<1.5	14	78	109	392	5	69	150
	12	11月23日	262	<1.5	11	63	73	337	<1.0	54	110
	13	11月23日	259	<1.5	11	66	73	318	1	49	110
	14	11月23日	391	<1.5	44	91	97	339	3	59	180
	15	11月23日	328	<1.5	31	68	74	319	<1.0	48	130
	16	11月23日	406	<1.5	57	90	102	344	3	52	210
	17	11月23日	326	<1.5	26	78	88	350	3	46	180

表 7 積雪（融解水）試料のイオン成分分析結果。

表面からの深さ cm	積雪密度 g/cm ³	Na ⁺ μM	NH ₄ ⁺ μM	K ⁺ μM	Mg ²⁺ μM	Ca ²⁺ μM	Cl ⁻ μM	NO ₃ ⁻ μM	SO ₄ ²⁻ μM	HCO ₃ ⁻ μM
0-20	0.196	113	17	4	22	7	148	17	20	—
20-40	0.301	123	29	6	27	12	141	16	18	—
40-60	0.362	91	27	5	18	6	103	11	14	—
60-65.8	0.303	85	24	5	15	7	96	15	14	—

— 未測定

森林公園内の河川水におけるイオン組成は中間型が多く、いくつかのタイプの水が混合した河川水または伏流水とみられた。これらのことから、野幌森林公園内の河川水（表層地下水の湧水を含む）と酪農学園地下水（深層地下水）は水質が異なると判断されるが、詳細については、それらの起源・由来等についてさらなる検討が必要といえる。

3.3.3. 野幌丘陵地下水の水文水質に関する考察

降雨時における大沢流域での流出特性を考慮して、酪農学園井戸地下水と森林公園河川水の主要イオン成分組成からみた水質について考察した。まず、酪農学園大学の井戸掘削の差異の地質柱状図をはじめ、野幌丘陵の地質地形の既往報告から、野幌森林公園の地下水流動は少なくとも図8に示すような2層以上にわたる地下水帯の流れによって構成されていると想定される。すなわち野幌森林公園への降雨

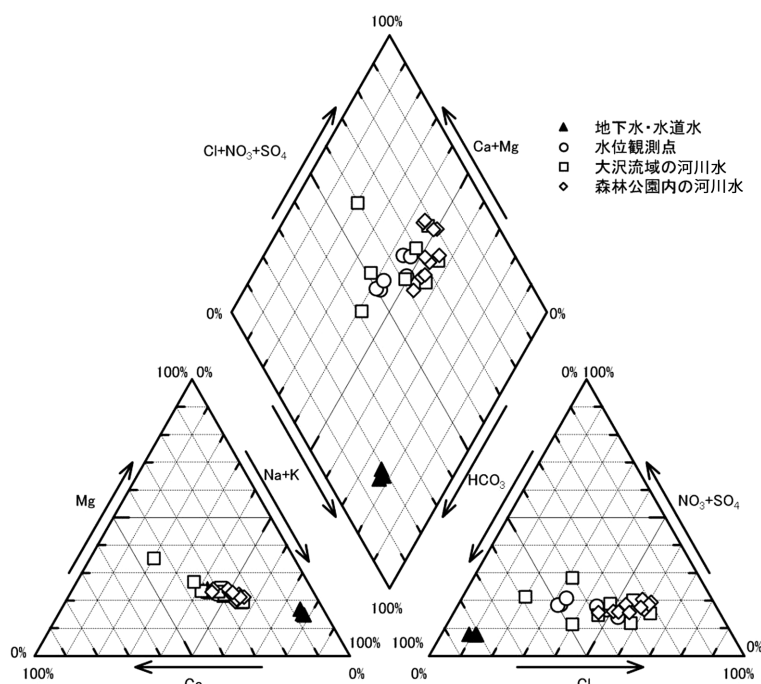


図7 イオン成分の分析測定結果から作成したトリリニアダイアグラム

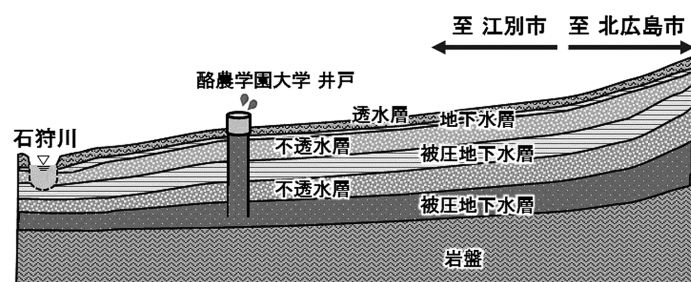


図8 酪農学園専用水道を含めた野幌丘陵の地下水構造の想定模式図。

は流域の表面，または透水層を通過した後，直接流出する成分となり，あるいは，比較的浅い不透水層に沿って流下しながら伏流水として再び湧き出し，これは野幌丘陵の高地から低地に向かって小河川を形成しながら基底流出する成分となる。一方，酪農学園専用水道の水源となっている深井戸水は，さらに地中深くに浸透した被圧地下水層の地下水を水源としている。実際酪農学園で専用水道として利用されている井戸の深さは地表面から180 mであり，100 m以深にストレーナーを設置しており，設置井戸の標高を約60 mとすると，採水水位は海拔約40 mの深井戸となる。今回の調査では，地下水の量と質に対する基本組成の概要を知ることができた。今後，地下水を永続利用するためには，水・物質輸送の点からも移動量の検討を行う必要があるとみられた。

3.4. 応急給水源としての酪農学園専用水道の利用に関する検討

2014年(平成26年)11月に発表された「断水災害に関する報告書」⁸⁾において，以下に示す断水災害時の応急給水活動に関わる問題点が挙げられている。

- ・数時間待ちの長い行列ができた給水所があった
- ・給水所周辺には多くの車が連なり交通障害をきたした
- ・補水所では，順番待ちで路上に給水車の列ができた
- ・補水場所が遠く時間を要した

これらに対する対策として，全庁的な対応による給水所の運営方針を検討し，適切な応急給水体制の確立を図る，また地下水利用者などと災害時協力についての検討を進める，とされている。

そこで，これらの問題点や対策を踏まえながら，以下に応急給水として酪農学園専用水道を使用する

際の検討事項について3つの思考実験と給水時の水質安全性確保の方法について考察を行なった。

3.4.1. 酪農学園専用水道の給水可能量

「3.2. 酪農学園専用水道の現状」に示したように、酪農学園現有の給水設備における最大利用可能な給水量は約2,100 m³/日であり、酪農学園専用水道で通常使用されている給水量は平均約600 m³/日前後であった。また、過去5年間での最大実績給水量としては、約1,000 m³であった。

このことから、酪農学園の通常業務を行なうと想定して、少なくとも約1,100 m³/日が使用可能と推定される。一般的に、災害時における飲料用水として最低限の必要量は3 L/人²¹⁾とされている。したがって、酪農学園専用水道を応急給水として使用する場合の最大利用人数は、 $1,100 \times 1,000 \div 3 = 370,000$ 人分となる。つまり、飲料用水のみの使用として限定すると、江別市市民総数の約3倍に対応することは可能である。一方で、2014年9月の断水災害では一人当たりの給水量を20 Lとして計算しており、この条件を想定した場合は、 $1,100 \times 1,000 \div 20 = 55,000$ 人分となり、江別市市民総数の約半数弱に対応することが可能と推定される。

3.4.2. 給水車による供給方法

酪農学園は江別市の住宅街からやや離れていることに加え敷地も広いことから、給水所を設置したとしても住民各自が断水災害で想定された20 Lの給水量を手で運搬することは難しく、車両を使用したとしても交通障害を起こすことで、効率が悪くなる可能性がある。また2014年9月の災害時の問題点に挙げられたように給水車の補水場所が遠かった点を考慮して、まず酪農学園専用水道網を給水車への補水所として使用することを想定した。

専用水道の地下水ポンプ3台のうち1台（ポンプ能力0.6 m³/分）を用いて、江別市の現有する加圧給水3トン（3 m³）車1台に補水し、片道30分の給水所にて給水（ポンプ能力0.32 m³/分）すると仮定した場合、

- (ア) 地下水ポンプによる給水車への補水時間は前後の作業を含めて10分
- (イ) 往復の移動時間は1時間
- (ウ) 給水所での給水時間は前後の作業を含めて約20分

となり、約1時間30分要することになる。24時間体制で1日当たりの最大供給回数は16回、48 m³を供給可能である。この量は酪農学園専用水道の最大利

用可能量2,100 m³/日の約2%であり、学内の水道利用の通常運営下でも給水が十分可能といえる。さらに、現在の使用量(2015年：約580 m³/日)と過去の使用量(2011年度：約690 m³/日)の差となる110 m³/日の2分の1以下であり、通年の給水にも耐えうるものと考えられる。この供給量から2014年9月の断水災害における一人当たりの給水量を20 Lとして計算すると、約2,850人と想定される。また、給水車が補水から給水までを効率よく運行されたと仮定すると、最大対応可能な給水車の台数は8台程度と予想される。実際には災害時の状況に応じ、江別市が現有する緊急貯水槽の位置等を考慮した上で、大学の位置や交通網を考慮した給水場所の設定が重要となる。

3.4.3. 非常用給水袋での供給方法

次に、非常用給水袋（10 L容量）による供給方法を考察する。

学園内に設置してある通常の蛇口からは1分当たり約12 Lの水を供給することが可能である。たとえば、10 L容量の非常用給水袋を満たすためには、前後の蛇口開閉の動作を含め約2分要するとする。一つの蛇口で詰められる数は1時間に約30袋（0.3 m³）、24時間では720袋（7.2 m³）となる。この量は、2014年9月の断水災害における一人当たりの給水量を20 Lと仮定して計算すると、360人分に相当する。学園内には水道の蛇口は数多くあるものの、作業効率や作業環境を考えた場合、適度に間隔のある蛇口を数個設置することが望ましい。給水袋の場合は、災害対象地区までの運搬作業の効率的な方法や非常時までの給水袋の備蓄管理についても検討する必要がある。

3.4.4. 災害時の応急給水としての安全性確認

応急給水は、水道施設で浄水処理された水が応急給水施設や給水車に補給されることを前提とし、水質に異常のない水道水であることを確認する。その水質確認（測定）は、外観、臭気、濁度、残留塩素、味を必須とし、選択的にpH値と電気伝導度（EC）を測定することとされている（表8）²²⁾。酪農学園専用水道では、これらのうち、色、濁り、臭い、味は1日に1回以上確認されており、比較的確認しやすい項目である。濁度および残留塩素についても、それぞれ携帯型濁度計および携帯型残留塩素計・バック試験汎用法といった専門家以外でも実施可能な簡便な測定方法があることから、普段行なっている監視項目の中に組み込むことが望ましいと思われる。

表 8 応急給水の測定項目と判断基準。

測定項目	必須／選択	測定の目的	判断基準	判断の意味
外観	必須	異常のないことを確認	無色透明であること	濁りのあるもの、着色しているものは給水できない。
臭気	必須	異常のないことを確認	異常でないこと	塩素(カルキ)臭以外の臭気のあるものは給水できない。
濁度	必須	濁りのないことを確認	2 度以下	外観の濁りを詳細に調査する。水質基準値の範囲であることを確認する。
遊離残留塩素	必須	消毒効果の保持を確認	0.1 mg/L 以上	消毒効果が保持されていることを確認する。水道法施行規則の規定(衛生上必要な措置)が守られていることを確認する。
pH 値	選択	汚染のないことを確認	5.8 以上 8.6 以下	浄水から大きく変化している場合は、汚染の恐れがある。
電気伝導度	選択	汚染のないことを確認	浄水から大きな変化がないこと	浄水から大きく変化している場合は、汚染の恐れがある。
味	必須	異常のないことを確認	異常でないこと	これまでの項目で判断基準を満たす水の最終判断として行う。異常な味を感じる水は、給水できない。

資料：震災等の非常時における水質試験方法（日本水道協会，2012）より作成。

また、実施選択項目となっている pH 値および EC の測定については、簡便で廉価な測定機器も開発されている。確認頻度は、給水車もしくは給水袋へ供給する直前に給水パイプから採取した水について行う。給水車に供給した場合には給水車の給水口から採取した水について確認し、給水以降は必要に応じて行なうことが望まれる。たとえば、2 号井は 400 m³/日を超えた場合、濁度が高くなる可能性があるため、給水量に応じて給水した水の外観も目視によって確認する必要がある。

4. ま と め

江別市においても浄水場が整備される前までは、地下水を水道水源と使用していた経緯がある。現在では、快適で安全・安心な市民生活を提供するインフラの施設サービスに欠かすことのできない都市機能としての水供給を支えるためには、その機能の集約、すなわち水源地から取水して、浄水し、配水するまでを一元化される方が効率的である。しかしながら、これまでにない自然災害が起りうる現代では、供給可能な水源を一元化するよりも多様化させておくことが災害に対する対応力が広がるものといえる。具体的には、現在の江別市における上水道の整備体制の中で、従来利用していた地下水資源の見直しと適切な利用方法、そして災害時における応急給水としての体制構築が重要となる。本研究調査では、森林公園を含めた野幌丘陵を切り口に地下水資源の水文水質の解析・検証を行ない、持続的水資源としての地下水の質と量の確認をめざした。また 2014 年 9 月におきた断水災害での教訓を元に、地下水利用者としての酪農学園の専用水道網を給水車へ

の補水拠点として利用することの妥当性について提案を行った。

「断水災害に関する報告書」⁸⁾には、2014 年 9 月の断水災害時に専用水道として地下水を利用している民間企業から井水の地域へ提供協力があったことも記されている。これら地下水利用者と江別市との間で事前に災害時に対する協力関係を構築しておくことが重要となる。地下水利用者である酪農学園は、江別市の指定避難所にも登録されていることから、災害時における学生・教職員への対応に加え、江別市とは災害時における包括的連携を設け、市との協議がはかられることも望まれる。これらの手立てをもって、大学も地域住民の避難場所として受け入れ体制づくりや、援助を必要とする被災者の支援や人の応援の場として円滑な運営の実施が期待される。

謝 辞

本論文は、平成 27 年度江別市大学連携調査研究事業「野幌原始林地下水の応急給水源としての利用に関する調査研究」（研究代表者：中谷暢丈）の助成を受けて調査解析を行った研究報告書について一部補筆・修正し、再構築したものである。調査解析にあたってご協力ならびに資料提供いただいた江別市、野幌森林公園での水文観測や入林許可をいただいた北海道博物館および北海道森林管理局石狩森林管理署、専用水道に関する資料の提供やポンプ室での水試料採取に便宜を図っていただいた本学施設課、ならびに本研究を遂行するにあたって本学教員・学生諸氏にはたいへんお世話になった。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 神吉和夫, 1982. 江戸時代の上水道についての 2, 3 の考察. 日本土木史研究発表会論文集 2, 177-180.
- 2) 厚生労働省, 2016. 水道の基本統計. URL. <http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/database/kihon/> (2017 年 5 月時点).
- 3) 能島暢呂, 野田茂, 細井由彦, 上月康則, 1996. 阪神・淡路大震災における水道の被害と復旧 — 送配水形態に着目した考察 —. 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, 645-652.
- 4) 永田茂, 西野雅夫, 鈴木清一, 2012. 東日本大震災における上水道管路施設の被害分析. 土木学会第 67 回年次学術講演会, 415-416.
- 5) 高西春二, 中野晋, 宇野宏司, 仁志裕太, 2012. 近年の豪雨災害による水道事業者の被災とその対応調査. 土木学会論文集 F6 68(2), I_130-I_137.
- 6) 平山修久, 2015. 災害時の安全な水の確保. 保険医療科学 64(2), 94-103.
- 7) 山本裕子, 2008. 災害時の生活と水の必要性. 保険医療科学 57(3), 240-244.
- 8) 江別市総務部・水道部, 2014. 断水災害に関する報告書. URL. <https://www.city.ebetsu.hokkaido.jp/uploaded/attachment/19830.pdf> (2017 年 5 月時点).
- 9) 江別市ホームページ. <https://www.city.ebetsu.hokkaido.jp/> (2017 年 5 月時点).
- 10) 気象庁ホームページ. <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2017 年 5 月時点).
- 11) 国土地理院ホームページ. URL. <http://www.gsi.go.jp/> (2017 年 5 月時点).
- 12) 北海道開拓記念館, 1981. 野幌丘陵とその周辺の自然と歴史. 北海道開拓記念館研究報告 6, 1-24.
- 13) 山口久之助, 1974. 札幌周辺の中小河川の流域地質と流況との関係について. 地下資源調査所報告, 46, 1-16.
- 14) 北海道農業試験場, 1985. 北海道の土壌. 北海道農業試験場, 札幌.
- 15) 小鹿勝利, 和孝雄, 1998. 都市林における森林施業の現状と課題: 北海道・野幌森林公園の事例. 森林計画学会誌 30, 41-49.
- 16) 酪農学園大学, 2014. 平成 26 年度大学機関別認証評価 自己点検評価書. URL. <http://www.rakuno.ac.jp/wp-content/uploads/2015/03/1728459f7f5e19e65bdd30b3e6e5ec38.pdf>
- 17) 橘治国, 安藤正治, 大森博之, 飯田真也, 梅本延彦, 1991. 融雪期における山地森林域河川からの栄養塩流出. 衛生工学研究論文集 27, 33-43.
- 18) 志知幸治, 橋本徹, 三浦覚, 相澤州平, 池田重人, 2005. 東北地方内陸部の森林流域における年間および融雪期の渓流水質. 日本森林学会誌 87(4), 340-350.
- 19) 日本地下水学会, 1994. 名水を科学する. 技報堂出版, 東京.
- 20) 中島玲, 原口智和, 田中明, 2012. 佐賀県の地下水の水質による分類. 佐賀大学農学部彙報 97, 27-35.
- 21) 曾布川尚民, 野原一子, 2008. 知っておきたい災害時の水対策. オーム社, 東京.
- 22) 日本水道協会, 2012. 震災等の非常時における水質試験方法(上水試験方法 — 別冊). 日本水道協会, 東京.

Abstract

When the centralized water supply facilities and/or water quality of their water sources are affected by natural disasters, it is necessary to obtain emergency water supply from other water source. In such a case, the adopter of private water facility can supply the emergency water to victims by their facilities using water source such as groundwater. In present study, the utilization of Rakuno Gakuen private water supply and it's water supply capacity as an emergency water source were investigated. The private water supply of Rakuno Gakuen, which uses deep groundwater at Nopporo Forest Park as a water source, could supply 20 L of water per person to about half of population in Ebetsu city every day. The water supply method by a water supply car from Rakuno Gakuen University as a water supply point was also proposed. Furthermore, a hydrological survey of Nopporo Forest Park and water quality survey were conducted to confirm the amount and quality of private water regulating the capacity and sustainability of water supply. From a result of our survey, there was a much difference in water quality between groundwater being the

source of private water supply and the surface river water constituting a part of groundwater at basin. For the management of sustainable groundwater source, further investigation is needed to confirm the amount of groundwater for private water supply and the genesis of groundwater quality.