

タイトル	地下水を水源とする分散した給水方式の問題点と改善方策
著者	清野，馨；余湖，典昭；堂柿，栄輔
引用	北海学園大学工学部研究報告，33：13-36
発行日	2006-02-20

地下水を水源とする分散した給水方式の問題点と改善方策

Problems in a Groundwater-Sourced Distributed Water Supply System and Its Improvement Measures

清野 馨*・余湖典昭**・堂柿栄輔**

Kaoru SEINO*, Noriaki YOGO** and Eisuke DOHGAKE**

要 旨

国民の健康で文化的な生活や社会経済活動を支える基盤施設として、安全で良質な水を供給するという水道事業の責務は、その美味しさなどといった質的な面も付加され今後なお一層大きくなる。

このような情勢下において本研究では、地下水を水源とする分散した給水方式の管理運営上の問題点について明らかにし、その改善方策について、北海道石狩市における事例を示しながら論考した。

本論における成果は、わが国における水道水源の年間取水量のうち、約20%を占めている地下水を水源とした同様の水道事業者が抱える問題点を改善させるための一研究になるものとする。

Abstract

Since water supply system is an infrastructure supporting the healthy and cultural life of citizens and socioeconomic activities, a water enterprise now takes on a greater responsibility to supply water with additional concern on qualitative aspects such as taste.

Under such circumstances, this study clarified the problems in operation and maintenance of a groundwater-sourced distributed water supply system and examined its improvement measures by showing the case of Ishikari City in Hokkaido.

In Japan, groundwater makes up around 20% of total annual intake. Therefore the result from this paper could be a study of improvement measures for the water enterprises of like character who have groundwater as water resources.

Key Words : *groundwater, water service administration, waterworks policy, investment effect*

* 石狩市役所水道部工務課
* City of Ishikari, Waterworks Department, Waterworks Construction Section
** 北海学園大学工学部社会環境工学科
** Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

1. はじめに

国民生活や事業活動、そして都市機能のライフラインとしての役割を有する水道は、災害時などにおいて電気やガスと並んでその復旧活動により速い対応が求められている事からも理解できるように、極めて国民生活と密着度の高い社会資本の一つである。

このような性格を有する水道事業者は、給水サービスのなお一層の向上と安定化を図るため、水道水源の環境悪化に対する水質保全対策や施設の耐震化、緊急貯水槽や給水区域のブロック化などの防災対策、並びに老朽化施設の更新を行いつつ、未普及地域解消などの課題にも積極的に取り組み、経営効率化の推進や能率的な事務処理にも併せて努めなければならない状況にある。

本論では、以上のような環境下にある水道事業、なかでも、まちづくりの進展に併せて小規模経営から発展させた水道事業に見られる、地下水を水源とした分散する給水方式での管理運営上の問題点について、大都市に隣接する地理的優位性の下で急激に人口増大した北海道石狩市（本論では、平成17年10月1日の合併前の石狩市とする）を事例とし、図-1に示した研究構成に基づき検証しようとするものである。

第2章では、同市の発展経過と水道事業の拡張経緯を整理する。その上で第3章では、地下水を水源とする分散した給水方式での水道事業運営上の問題点と、それへの対応現状を整理考察する。それを踏まえ第4章と第5章では、それら問題を解決させる代替水源の立案を行うこ

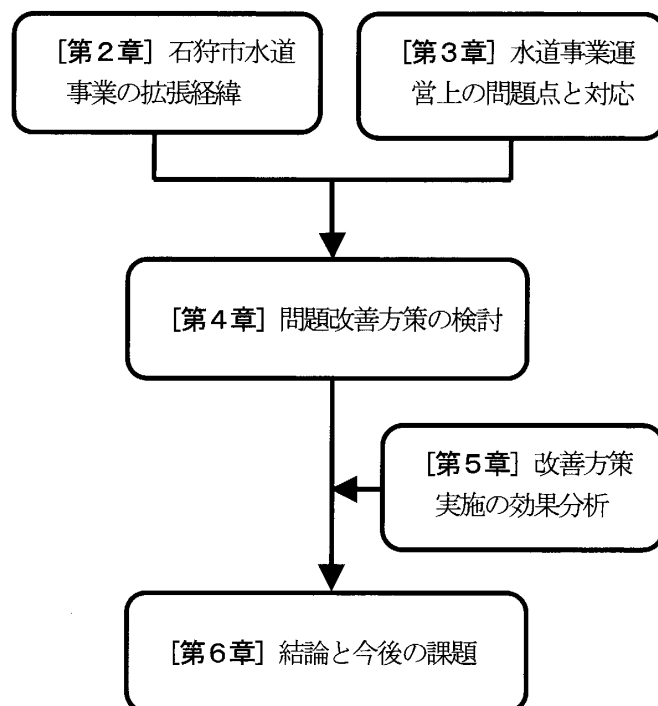


図-1 本研究の構成

とで、複数自治体による一部事務組合組織からの用水供給を受けるという同市の現計画を含め、考え得る改善方策を主に費用面などから検討し、その経済効果についても明らかにする。そして第6章では、それら改善方策の得失などの検証結果を踏まえ、現状での最善政策を示しつつ本研究のまとめを行い、わが国における給水サービスのなお一層の向上と安定化を実現させるための一研究として論考しようとするものである。

2. 石狩市水道事業の拡張経緯

(1) 石狩市の発展経過

石狩市は図-2に位置する行政区域内人口56,278人(2005(平成17)年3月末現在)の都市で、石狩川が日本海に注ぐ最下流にあり、西側は石狩湾、南側は政令指定都市・札幌に接している東西約22km、南北約19km、面積約118km²の細長い形状をしている都市である。

同市は17世紀の初頭、松前藩により石狩場所が設置されたことを機に、鮭の交易で大いに賑わいを見せたことが史実¹⁾として残されている。明治時代に入り全国各地から移住者が集まり、花畔、生振、樽川の3つの村が誕生した。

昭和30年代には、人口が急増する札幌市のベットタウンとしても注目され、1964(昭和39)年より現在の花川南地区において団地造成が開始されている。更には1970(昭和45)年の第三期北海道総合開発計画に位置付けられた、国策としての石狩湾新港建設とその背後地域における工業団地造成によって大きく変貌しはじめ、市街地においても順次、大規模団地開発が進

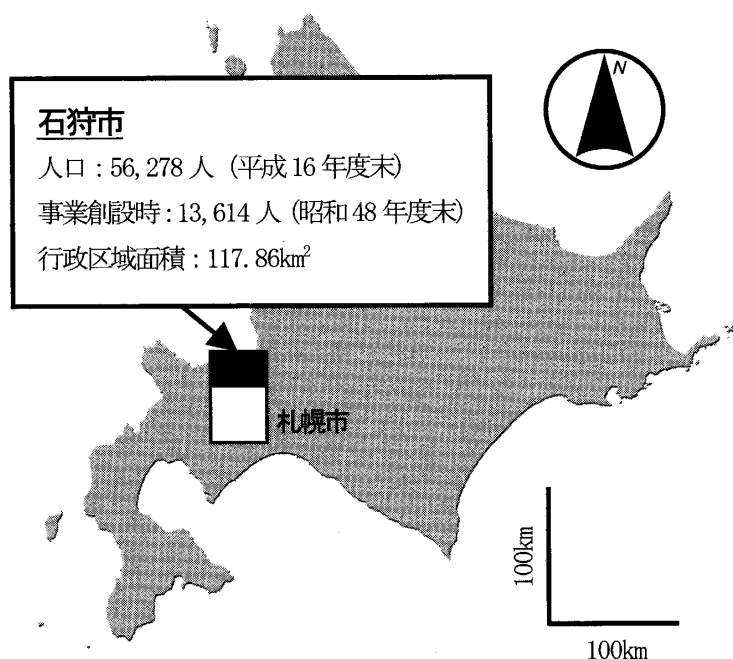


図-2 石狩市の位置

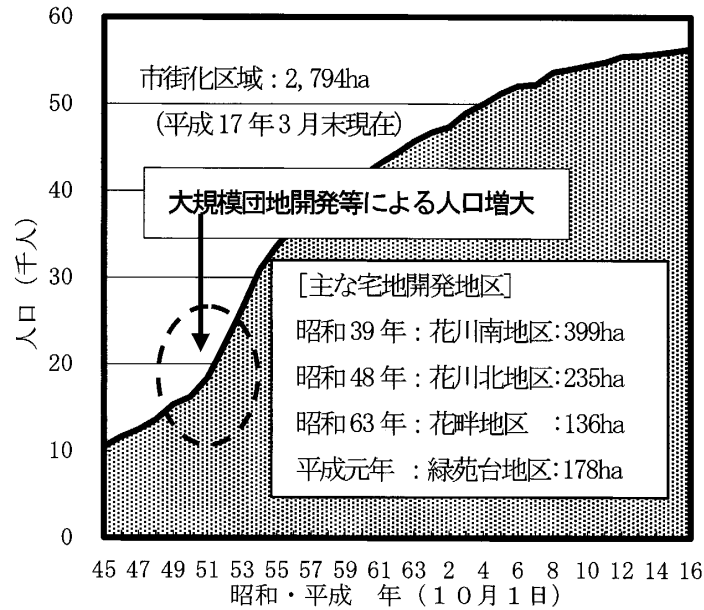


図-3 石狩市における人口動態

み、1975（昭和50）年からの僅か5年間で、図-3に示したように2倍以上の急速なる人口増大²⁾をみせている。

このような人口増大などに伴い、分散した小規模集落がそれぞれ拡大することで短期間に一体化し、1996（平成8）年9月には市制施行されている。

(2) 石狩市水道事業の創設と拡張

水道事業については、花川南地区において団地造成が開始された直後の昭和40年代前半までは、人口規模も小さく人口密度も低かったことから、地下水を水源とする小規模専用水道や自家用の浅井戸により、大方の生活用水を賄うことが可能であり、公共水道は皆無³⁾であった。

その後、人口の急激なる増加や生活水準の向上による使用水量の増加によって、従来どおりに生活用水を浅井戸に求めることは困難となってきた。更に公衆衛生意識の浸透により、安全で衛生的な水道に対する住民の要望が高まってきたことから、図-4に示したように1973（昭和48）年に花川地区上水道事業¹⁾を創設させている。引き続き1974（昭和49）年には本町八幡地区簡易水道事業、1978（昭和53）年には石狩湾新港地域簡易水道事業などを順次創設拡張させている。その際、各簡易水道事業毎に有している浄水場施設などをその都度拡充し、1998（平成10）年にはそれら分散する給水区域を統合、増加する水需要に対応しつつ地域の発展に大きな役割を果たしてきている。

水道水源については、市域全体の水需要に対応できる恒久的水源の確保が困難であることから、地下水を水源として1976（昭和51）年から、不足する水量を隣接する札幌市からの分水²⁾に求めている。

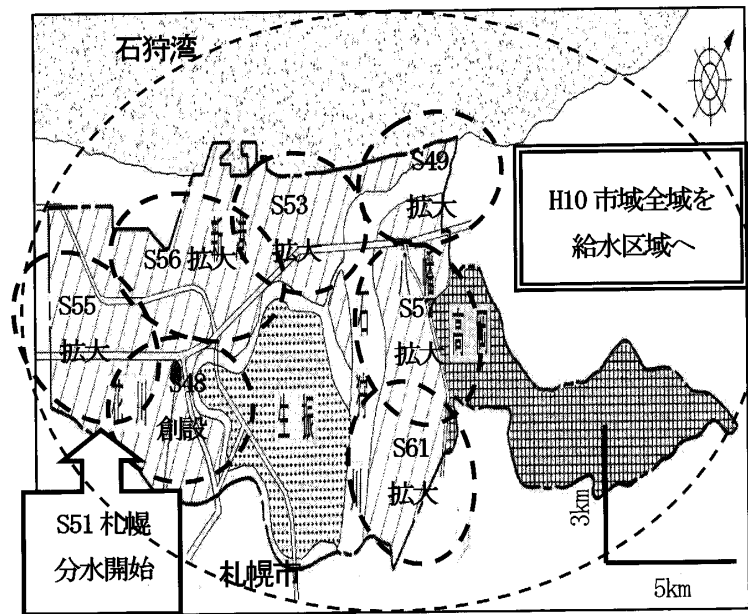


図-4 石狩市の給水区域拡大経緯（概要）

2005（平成17）年3月現在、保有する施設は11箇所の浄配水場と井戸20本（深度200から300m程度の深井戸18本、深度20m程度の浅井戸2本）となっている。都市の段階的な発展経緯を背景に、こうした小規模浄配水施設の分散した給水形態は、次章でも考察するように効率的な経営及び維持管理上からも問題点が多く、水道事業の大きな課題となっている。

このため地下水を水源とすることによる課題克服と、必要最低限度の投資による効率的な給水方式を実現させるべく、将来における安全で安定した恒久的水道水源の確保、及び水道未普及地域の解消を図る観点から、石狩市では1992（平成4）年度に設立された石狩西部広域水道企業団（以下、企業団）に札幌市などと伴に参画している。

現在計画では2013（平成25）年度から市域全体の水需要に対応する用水供給（水源は当別ダム）を企業団より受ける方針で、広域化促進地域上水道施設整備事業⁴⁾の国庫補助採択を受け、市内受水施設の建設と、市域全体を統合する基幹的な送配水施設の建設を順次進めてきている。

（3）石狩西部広域水道企業団の設立と主要事業

北海道における札幌市、小樽市（石狩湾新港地域）及び当別町では、本論において事例としている石狩市同様、人口の集中や諸産業の集積等により、その水需要量は緩やかに増加することが見込まれている。このため長期的な需要を見通した水源開発とともに、広域的な視野に立った上で共有でき得る施設整備を行い、円滑かつ効率的な水供給を行う必要があることから、北海道庁、札幌市、小樽市、石狩市及び当別町で構成する企業団（地方自治法に基づく一部事務組合組織）を1992（平成4）年度に設立させている。

企業団による構成団体への不足水量対応や、暫定水利等不安定取水による各種問題の解決を図るため、恒久水源としての用水供給開始は、2013（平成25）年度からを予定しており、水源である当別ダムからの計画取水量は103,700m³/日、計画用水供給量については94,300m³/日（目標年度はいずれも2035（平成47）年度）を見込んでいる。

このうち石狩市へは30,600m³/日を供給することとしており、それらのための企業団主要事業としては、水道広域化施設事業としての取水施設や導水施設、浄水施設と送水施設、そして分水施設の建設がある。更には北海道の事業である、当別ダムへの負担金としての水道水源開発事業がある。これら主要事業の2005（平成17）年3月末現在の進捗率は、水道広域化施設事業が総事業費約527億円に対して26.0%、水道水源開発事業については総事業費の上水道負担分である約215億円に対し36.5%となっている。これら事業に対する石狩市の負担金総額は約4,800百万円であり、これまで既に約1,000百万円を負担金として企業団へ先行投資してきている。

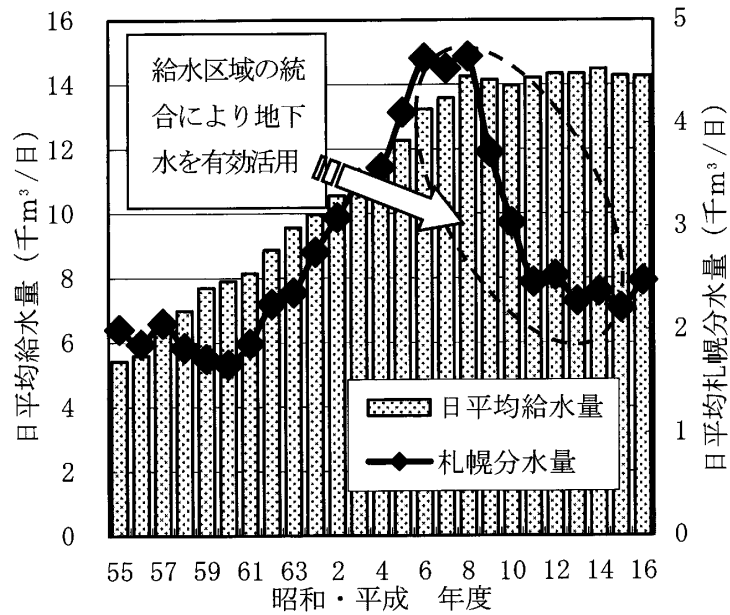
3. 水道事業運営上の問題点とその対応

（1）地下水を水源とすることの問題点

石狩市域には石狩川が横断しているが、同河川から取水をしたくともその上流側において、全ての水利権が既に各種事業者により取得済みである。仮にこの水利権問題が改善されたとしても、同市域が日本海に注ぐ最下流にあることから、水道法に基づく水質基準を満足させるためには、高コストな高度処理が必要となっている。

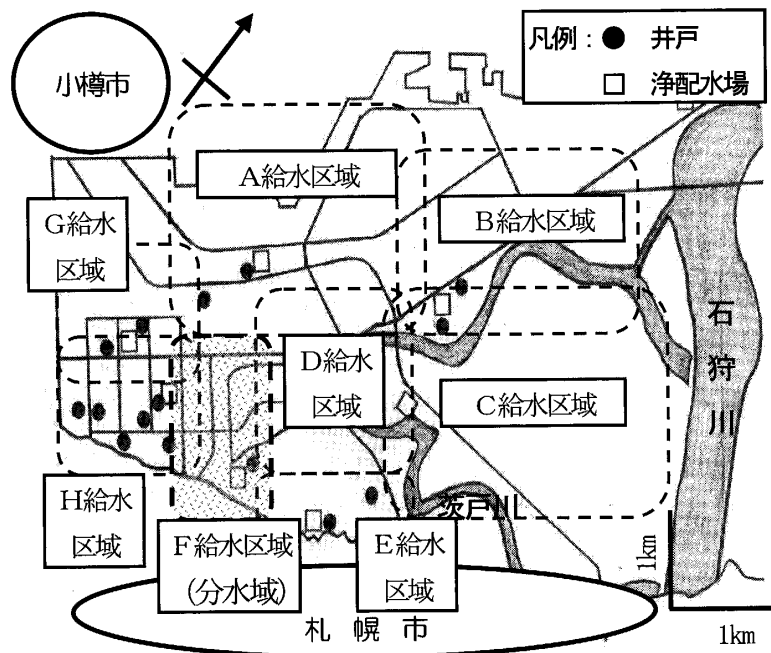
そこで同市では、上水道事業を創設しようとした1973（昭和48）年当時、人口が未だ少ないこと、小規模でかつ分散した都市形成であること、更には深層地下水に恵まれていること等の地理的特性を踏まえ、その水源を地下水に頼るという選択を行っている。

その後1996（平成8）年頃までは、小規模経営から発展させた水道事業の形態により、同市では図-5に示したように急激なる需要水量増大の対処に迫られている。その間、事業計画立案時に適確な推測ができ得ず、札幌分水による補填と給水区域の拡大など、その都度対症療法的な対応を行うために、水道法に基づく計画変更⁵⁾を重ねている。



図一五 石狩市における需要水量の経年変化

このような情勢下において、同市における上水道水源は地下水環境にも配慮しつつ、図一六（図一四の一部拡大）に示すとおり同市域に点在する深井戸や浅井戸と、不足分を補填するための札幌市からの分水に頼ってきている。このうちの主要な水源である井戸については、その需要水量の急激な増大に伴い、札幌分水などにより不足する浄水能力を補いつつ、増加傾向にある揚水量を低減させているが、図一七に示すように多くの井戸において年々動水位が低下している傾向にある。



図一六 市街地における井戸の配置と給水区域

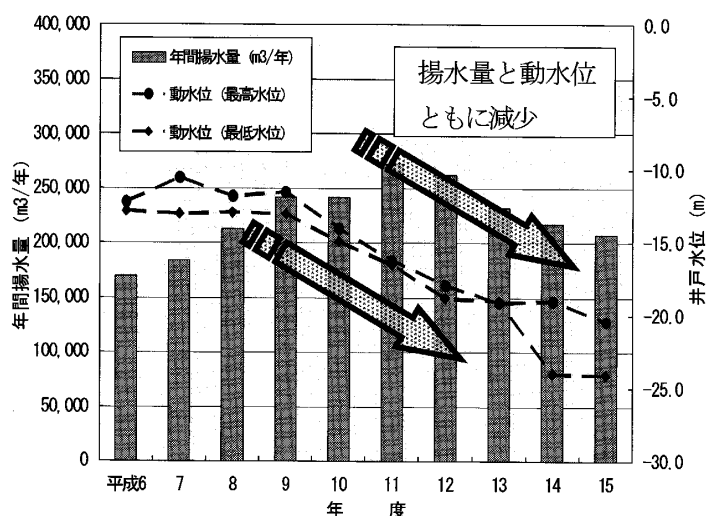


図-7 代表的な井戸の揚水量と動水位の関係

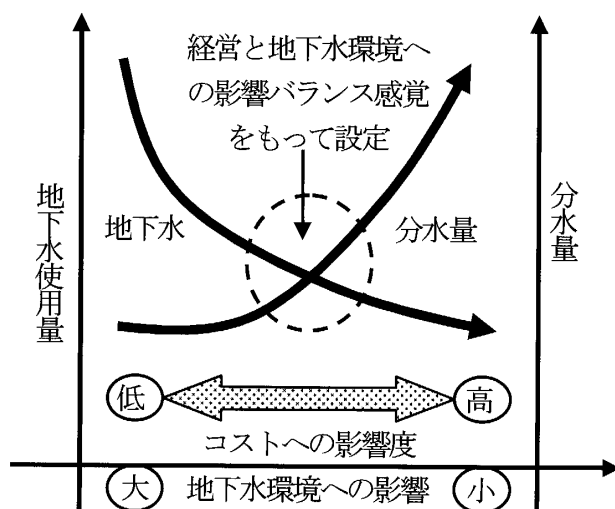


図-8 経営的観点からの地下水使用量と分水量の関係

このような各動水位の低下傾向を改善させるべく、札幌市からの分水量をなお一層増大させることによって、各井戸の負担を軽減させるという手法もある。しかしながら水道事業運営上この分水は、地下水を水源とする場合よりも原水単価が概ね6倍⁽³⁾と割高である。そのため図-8に示すように、地下水使用量と分水量のバランス、更には経営及び地下水環境への影響度合いを併せ評価するという考え方によって、市民への経済負担を重くしないよう必要最低限度の分水使用水量に留めてきた。

市域全体に井戸が配置されている同市では、このような動水位の動きを勘案すると、被圧地下水から採水することによる水圧低下に伴い、粘土層の圧密が始まり広範に及ぶ地盤沈下や、臨海都市であることからの塩水化等の地下水障害を招く危険性が高まっている。更には、揚水量の増加による砂等が混入し、井戸ポンプの故障を引き起こすなど、浄水処理にも悪影響を及ぼすという問題を潜在させている。

また、深井戸の汚染経路として土壌の隙間、人工的な構造物に沿った水みち⁶⁾などが考えられており、同市も急速な都市化による人工的な構造物が急増していることから、将来、地下水汚染が発生する可能性が極めて高い地理的環境にある。

(2) 現状の問題点への対応

これまで論考してきたとおり、石狩市を通じて考えられる、地下水を水源とする分散した水道事業運営を余儀なくされている事業者においては、図-9に示すように小規模施設の分散化や浄水・配水施設の老朽化（維持管理費など必要費用の高騰）などの問題が、都市形成の歴史的な背景の下で潜在すること、そして地下水揚水による地下水環境へ及ぼす影響として地盤沈下や塩水化、更には地下水汚染の危険性などがあることを指摘してきた。

また、需要水量への補完水源としての他都市からの分水は、地下水環境への負荷を軽減させるという一面もあるが、自己水源である地下水に比べ割高であり、経営的観点から豊富に活用できない情勢にある。しかも老朽管入替や浄水施設の改修、そして耐震化などの新たな施設拡充のための投資が必要な事業者にとって、水道事業運営は極めて厳しい環境下にあると言える。

これら問題点のうち同市では、小規模施設の分散化について1998（平成10）年に、それまで個別に事業運営していた複数の簡易水道事業や専用水道事業などを統合するという対応を執っている。

これにより図-5や図-10に示したとおり、地下水の有効活用が実現されるという結果にな

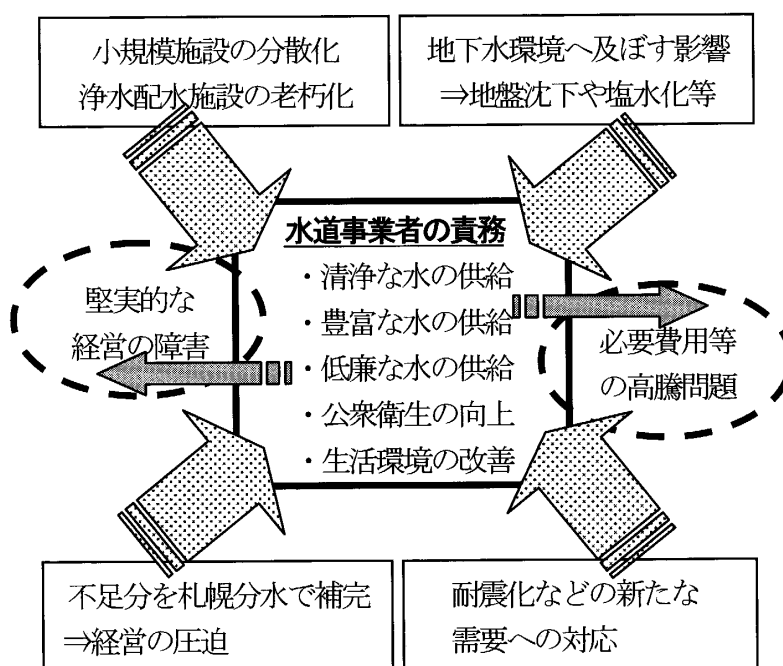


図-9 石狩市における水道事業運営上の問題点

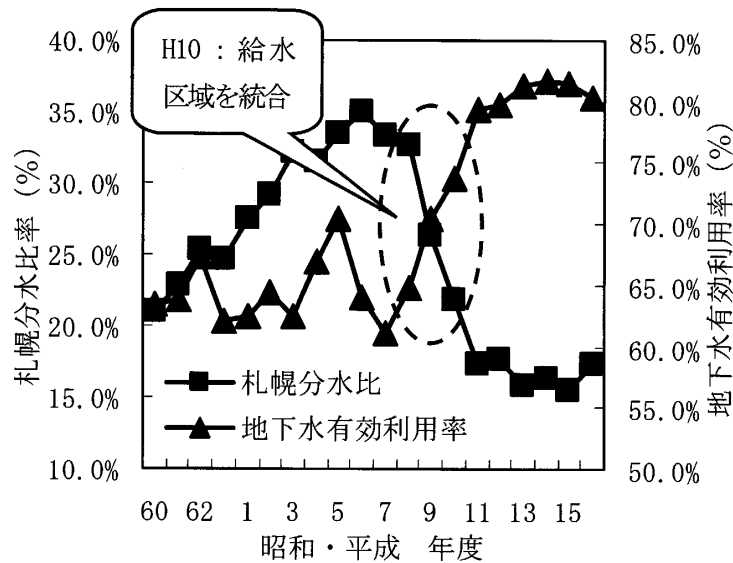


図-10 地下水の有効利用率と札幌分水比率

ってきている。しかしながら、依然として分散する給水方式では、施設供用から30年以上を経過した複数の浄水場施設や配水管の老朽化は著しく、必要最低限度の施設改修や老朽管入替を行いたくとも、厳しい財政状況下において計画的に施設整備できない情勢にあり続けている。

次に地盤沈下や塩水化、地下水汚染の危険性については、根本的な解決が極めて難しいが、モニタリング調査などを定期的に行い、その監視に努めることに留まっているのが実態である。

そして地下水よりも割高な他都市からの分水量の抑制については、地下水環境への影響に配慮しつつ、各井戸と関係する浄水場の施設能力を最大限に発揮させることで、分水量が縮減できるよう、各浄水場系統の給水エリアの拡大や縮小を頻繁に行っている。その結果、地下水の有効利用率⁽⁴⁾は近年80%を超え、全体取水量に対する札幌分水比率⁽⁵⁾についてもピーク時の35%から15%程度へと改善されている。

以上のとおり、いずれも暫定措置的な各種問題点への対応であるが、これら課題を根本的に解決させるべく同市では、恒久水源を求め1992（平成4）年度より石狩西部広域水道用水供給事業に参画し、2013（平成25）年度から市域全体の水需要に対応する用水供給を受けようとしている。

次に、この政策が10年以上経過した今も、適正な改善方策であるか否か、同市における地理的環境をも勘案しつつ次章において評価する。

4. 問題改善方策の検討

(1) 検討の手順と代替水源案

図-11において、本章で検証しようとする改善方策の検討フローを示した。

まずは、事例検証の対象である石狩市の地理的環境をも勘案しつつ、考え得る代替水源案の提示を行う。次に同市水道事業において、将来需要を賄える可能性がある水源を検討するための代替水源案を選定する。更に、それら選定された代替水源案について、事業の迅速性（必要となる事業期間）と必要費用（概算事業費の積算）を検証し、その上で現在計画と比較しつつ、現時点で優位性のある水源について論考する。

表-1において、考え得る代替水源案の提示を行う。なお、いずれの案も現在計画の代替案

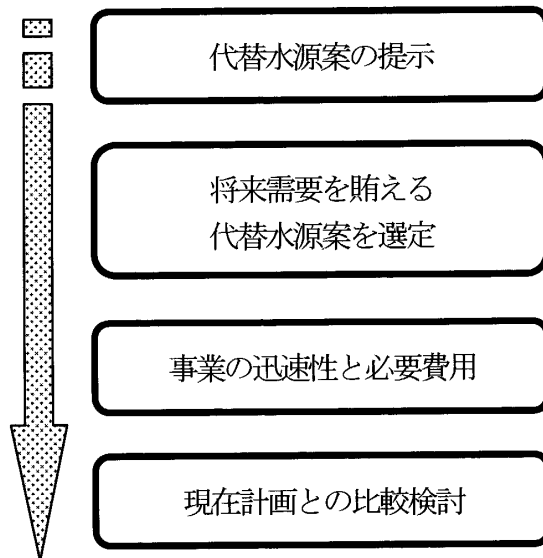


図-11 改善方策の検討フロー

表-1 代替水源案の提示

代替水源案	内 容
案1：地下水を恒久水源とする	現在の主要水源である地下水を継続使用する
案2：工業用水道を転用する	石狩湾新港地域へ供給されている工業用水を石狩市水道事業の水源として転用する
案3：他自治体の給水区域を拡張する	隣接する他自治体の給水区域を石狩市まで拡張し、これを持って水需要を賄う
案4：望来ダムに水源を求める	隣接する厚田村に建設された農業専用の望来ダムに水源を求める
案5：朝里ダムに水源を求める	小樽市に建設されている朝里ダムに水源を求める
案6：定山溪ダムに水源を求める	札幌市に建設されている定山溪ダムに水源を求める
案7：海水淡水化施設の建設	海水淡水化施設を建設し、海水を水源とする

であることから、水源確保のため現在同市が参画している企業団からは脱退するものと仮定⁽⁶⁾する。これは同時に同市が広域的水道整備計画から離脱することをも意味し、これまで交付されてきた広域化促進地域施設整備事業の国庫補助金を返還する義務⁽⁷⁾も生じることから、このことを念頭に置き必要費用などを積算する。

(2) 代替水源案の事業性の検証

先に代替水源案とした表-1の7案を踏まえ、石狩市水道事業の需要水量を賄える可能性のある水源を抽出する。条件としては、同市の将来水需要として2035（平成47）年度において30,600m³/日⁷⁾の一日最大給水量が見込まれていることから、代替水源がこの需要の一部でも供給することが可能か否かという観点から検討を行う。

表-2に各代替水源案別の考察と、選定結果を示した。これら代替水源案の中で、定山溪ダムに水源を求めることについては、関連する事業者の計画より余剰水がないことが明らかなことから、この選定により除外している。

よって本論では①地下水を恒久水源とする、②工業用水道を転用する、③他自治体の給水区域を拡張する、④望来ダムに水源を求める、⑤朝里ダムに水源を求める、そして⑥海水淡水化施設の建設の6案をもって、事業の迅速性と費用の観点から検討を行う。

表-2 代替水源案の検証

代替水源案	考 察	選定結果
案1 地下水を恒久水源とする	将来に渡っての安定水源となることは考え難いが、現計画とのコスト比較を行う。	○
案2 工業用水道を転用する	当該施設の供給可能量は12,000m ³ /日程度であり、将来の石狩市需要水量を賄うことは不可能。本論では、その不足分を地下水で補うとの考えで現計画とのコスト比較を行う。	○
案3 他自治体の給水区域を拡張する	他自治体の了承が得られれば実施可能な案と考えられる。	○
案4 望来ダムに水源を求める	望来ダムは農業専用ダムであり、通年貯留に不安が残る。しかしながら、石狩市水道事業の水需要を量的に賄うことが可能と思われるので、検討を行う。	○
案5 朝里ダムに水源を求める	水道用開発水量の一部を石狩市水道事業分として割当を行うことが可能となれば、代替水源として利用することが可能と考える。	○
案6 定山溪ダムに水源を求める	現計画では、余剰水がないことなど実施が極めて難しいと考える。	×
案7 海水淡水化施設の建設	石狩市独自で事業実施が可能な案である。	○

この選定結果を踏まえ、それら事業の検証にあたっては各種不確定要素はあるものの、その評価には定量化できる同市への供給開始までの期間と、概算事業費の積算によって比較した。その結果については表-3に示した。

それら積算の前提条件としては、代替水源である地下水の場合、老朽化する分散した施設の問題点を改善させるべく、新たな浄水場施設の建設と除鉄・除マンガン処理施設、更には導水管布設などを与条件とした。

工業用水道については、既存施設の買い取りや新たな浄水場施設の建設及び導水管布設などを前提とした。また他自治体の給水区域を拡張することについては、水道料金収入が見込めない環境下での影響として、同市が抱える起債残高の償還や企業団脱退に伴う同市負担分の償還などを積算した。

望来ダムと朝里ダムについては、水源開発費の一部負担や新たな浄水場施設の建設及び導水管布設などを与条件とした。そして海水淡水化については、関連する施設の建設や送水管布設などを建設するとの基本条件下で、それぞれ積算を行った。

今回の検証により、本論において代替水源と選定した各事業は、関係機関との協議に時間を要することから事業期間が未定となるが、現在計画である企業団からの受水が最短となる見込みである。更に概算事業費においても、現在計画が最も安価となる見込みであることが明らかとなった。

(3) 現在計画と代替水源案との比較検討

石狩市における恒久的な水道水源の確保について、本論では現在計画に対する代替水源案を立案し、事業の迅速性と費用の観点から検証した。その結果、これら代替水源のいずれも、費用的・時間的な面で有意性が確認出来ず、現在計画が同市水道事業運営上の問題点を改善させ

表-3 現在計画と代替水源案の比較

分類	事業案	事業期間	概算事業費
現在計画	企業団から受水	H4～H24年 (残8年)	4,800百万円 ※残り38億円
代替水源	案1：地下水	15年+ α	10,047百万円
	案2：工業用水	15年+ α	24,075百万円
	案3：他自治体の給水区域	25年+ α	12,402百万円
	案4：望来ダム	33年+ α	18,235百万円
	案5：朝里ダム	30年+ α	20,312百万円
	案7：海水淡水	20年+ α	29,558百万円 + β

※ α は関係機関との協議に要する時間。 β は送水ポンプ場建設費と漁業補償費などである。

る有利な方策だということが改めて確認された。

また企業団への参画に当たっては、単独で事業を進めるよりも、下記の点で得策であると推察できる。

- ①国と北海道からの補助金や負担金を導入することが可能となり、同市単独で事業を進めるよりも負担を減らす⁽⁶⁾ことができる。
- ②複数の構成団体による出資により、建設資金の有効活用が図れる。
- ③効率的な管理運営については、水質検査体制の強化や施設の集約化、そして人件費削減などを図ることが可能となり、経費節減になる。

また、当該事業を単独に進めた場合、すなわち企業団事業に参画せず、同市単独で恒久的水道水源の確保や、水道水質の衛生確保の徹底・拡充などを図ろうとした場合、次のことが懸念される。

- ア. 恒久的水道水源の確保が極めて難しいという、地勢的な問題点を変えることができず、しかも将来的に増大する水需要に対しても、暫定的な地下水のみに頼らざるを得ない状況となること。
- イ. 分散する施設の維持管理費や井戸の増設費用が増大すること、更には他都市からの割高な分水を続けることにより、大きな経済負担を市民に強いること。
- ウ. 将来的な水源不足により給水区域の拡張が図れず、未給水地区の解消も実現できなくなり、市民皆水道などのまちづくり計画とも不整合が生じること。

以上の懸念事項も含め、同市の抱える各種問題点を改善させるためには、現在計画以外に事業費が相対的に安価でかつ、維持管理費の節減が図れるなどの代替案が、現時点では見当たらないことを定量的に明らかにした。

5. 改善方策実施の効果分析

(1) 分析の方法と手順

前章では、水道事業運営上の問題点を改善させるため、各種改善方策を比較検証した。このことを踏まえ本章では、その改善方策の実施による効果を具体的に提示し検討する。

前述したように石狩市では、その水源の80%以上を地下水に頼っており、地下水環境のことも考えると、これ以上の揚水量増大は望めない。しかも隣接する札幌市からの分水の増量は、水道料金を通じて市民の経済負担を大きくさせる危険性も潜在させており、いずれの観点からも今後の取水量と分水量の増大には課題がある。

そのような条件下において今後の計画給水量を推計すると、**図-12**に示したように2007（平成19）年度より、計画一日最大給水量が既存浄水施設能力を一時的とはいえ超過⁽⁷⁾することが

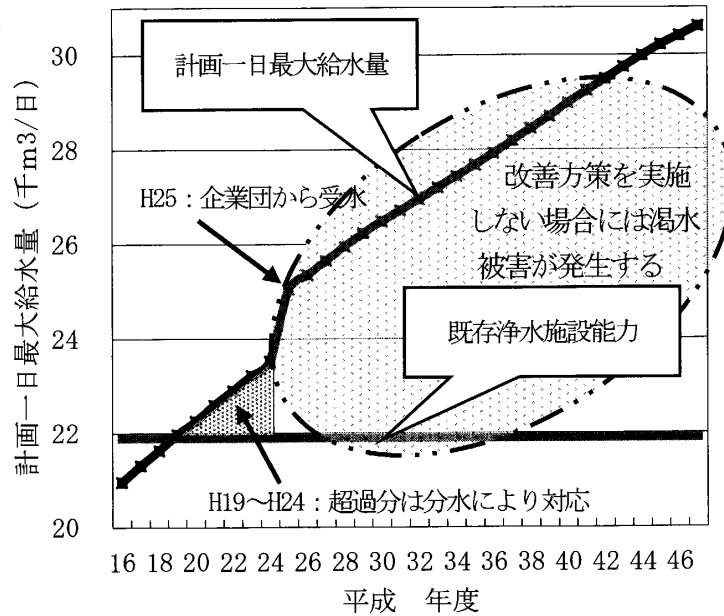


図-12 計画一日最大給水量と既存浄水施設能力

見込まれている。よって同市が参画する企業団から用水供給を受ける2012（平成24）年度までの6年間については、札幌市からの分水により大幅な給水制限は回避できるものと想定される。しかしながらそれ以降については、札幌市の給水計画上これ以上の分水契約の継続が望めず、企業団からの用水供給がない場合には、市民や企業への減圧給水や、時間給水などの漏水被害が生じるものと見込まれる。

よって本章では、それら被害を防止する効果が現在計画にはあるとの視点から、何ら改善方策を実施しなかった場合に生じる漏水被害（市民の日常生活と工業生産）を定量的に示すことにより、日常生活における漏水被害額⁸⁾と工場における漏水被害額⁹⁾をその防止効果として算定する。

なおそれら被害額算出対象期間については、2004（平成16）年度より同市水道事業の長期計画の目標年度である2035（平成47）年度までの32年間とした。

また漏水被害の算定にあたっては、将来における節水率別の漏水日数を推計する必要がある。ここでは、将来における節水率別漏水日数を統計的手法¹⁰⁾により、次の手順によって算出した。

- ①計画一日最大給水量が、既存の施設での供給可能能力を初めて超過する年度を、漏水被害発生開始年度とする。
- ②最大節水率は（当該年度日最大給水量－供給可能能力）÷（当該年度日最大給水量）とする。
- ③年間の給水量は日々変動するが、横軸に給水量、縦軸に日数をとってグラフ化した場合、**図-13⁹⁾**のように標準正規分布に従うものとする。

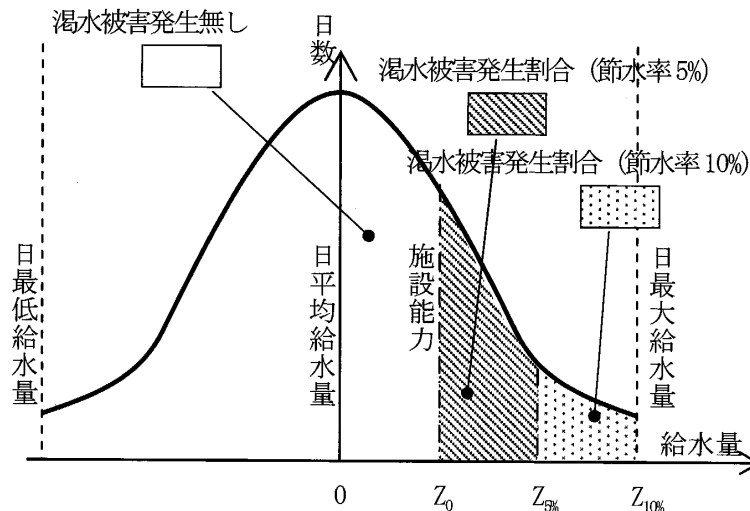


図-13 標準正規分布と渇水被害発生割合

- ④標準当該年度の施設能力と当該年度最大給水量との間を節水率（5%）毎に分割する。
- ⑤当該年度の施設能力を超過している日数の割合については、標準正規分布表より求め、年間日数を乗じ算出する。

（2）日常生活における渇水被害防止効果

日常生活における渇水被害としては、外食費や衛生用品並びにミネラルウォーター等の飲料水の購入や、水を貯める労働増などといった渇水期間中毎日発生する経常的被害、更に渇水期間中の最も厳しい状態に依存する被害としての、ポリ容器や浄水器などの購入といった一時的被害が発生するとの考えの下で算出した。石狩市におけるそれら被害額算出のフローについては図-14に、その算出経過と結果を表-4に示した。以下に計算手順を述べる。

- a. 将来における制限給水の实態を把握するため、節水率別渇水日数（表-4の上段③）を推計する。
- b. 次に給水量不足による渇水被害の推計については、過去（1997（平成9）年3月）に建設省河川局河川計画課において、渇水被害による影響度をアンケート等により定量的に把握し、被害原単位を1994（平成6）年価格で設定（表-4の上段④と下段②）し公表⁸⁾している。
- c. ここでの推計では、全国調査を踏まえ設定している給水制限率別での原単位を採用し、現在価格に換算するため物価補正係数（表-4の上段⑤と下段③）としての消費者物価指数を乗ずることにより、補正後の被害原単位（表-4の上段⑥と下段④）を設定する。
- d. その後、住民基本台帳上での世帯数（表-4の上段⑦と下段⑤）と補正後の被害原単位を乗ずることによって、給水制限率別の経常的被害額（表-4の上段⑧）および、一時的被害（表-4の下段⑥）を算出し、全体被害額を推計した。

なお、その算出のための主な諸元を次のように仮定する。

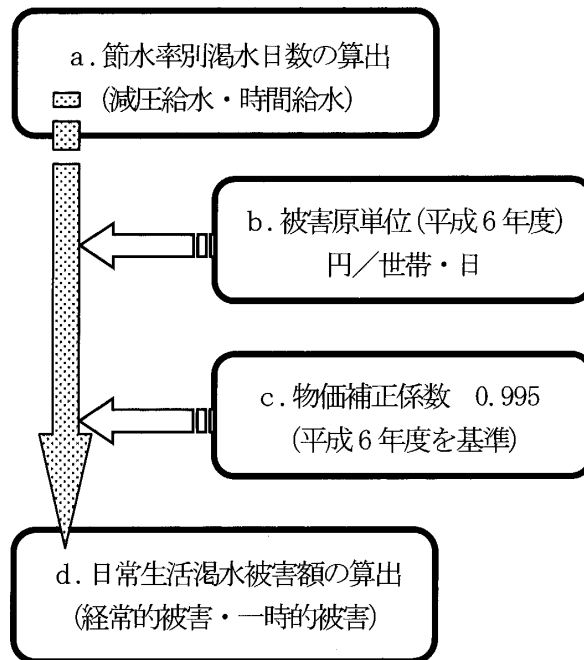


図-14 日常生活渇水被害額の算出フロー

制限給水の方法については、給水制限率が20%以下の場合は減圧給水とし、20%を超える場合は時間給水とする。

また物価補正係数については、総務省統計局のデータ¹¹⁾により1994（平成6）年度を基準とする0.995を採用する。

以上のことを踏まえ、経常的被害額と一時的被害額を合算した日常生活渇水被害額を算出したところ、32年間の累計被害額は約1,750億円となった。よって本改善方策による防止効果は、年平均被害額の約55億円と算出された。

（3）工場における渇水被害防止効果

工場における渇水被害の考え方としては、新たな水源確保のための支出や、生産額減少などといった給水制限率別の制限日数に比例する経常的被害，更に貯水タンクの購入や水質改善設備などの設置といった，最大給水制限率に依存する被害としての一時的被害を算出した。石狩市でのそれら被害額算出のフローを図-15に示し，その算出経過と結果を表-5⁽¹⁰⁾に示した。以下に計算手順を述べる。

- a. 日常生活における渇水被害防止効果同様，将来における制限給水の実態を把握するため，節水率別渇水日数（表-5の中段②）を推計する。
- b. その上で給水量不足による経常的被害の推計を行うため，建設省が過去に公表⁸⁾した給水制限率別の生活関連型，基礎資材型そして加工組立型の3分類での被害原単位（表-5の中段③～⑤）を設定する。

制限給水の方法
 制限率>20% 時間給水
 制限率≤20% 減圧給水

「消費者物価指数」 「住民基本台帳人口要覧（平成16年版）」

制限段階 (次) ①	給水制限率 (%) ②	期間 (日) ③	平成6年被害原単位 (マニュアル掲載) (円/世帯・日) ④	物価補正・係数 ⑤	補正後被害原単位 (円/世帯・日) ⑥=④×⑤	世帯数 (世帯) ⑦	経常的被害額 (円) ⑧=③×⑥×⑦
1次	5	292	0	0.995	0	21,787	0
2次	10	756	140		139		2,289,465,108
3次	15	1,418	279		278		8,588,522,548
4次	20	1,937	419		417		17,597,991,723
5次	25	1,801	1,515		1,507		59,132,249,209
6次	30	1,227	1,818		1,809		48,359,362,041
7次	35	565	2,121		2,110		25,973,372,050
8次	40	171	2,424		2,412		8,986,091,724
9次	45	37	2,727		2,713		2,187,000,847
10次	50	15	3,030		3,015		985,317,075
合計		8,219					174,099,372,325

最大節水率 (%) ①	平成6年被害原単位 (マニュアル掲載) (円/世帯・日) ②	物価補正・係数 ③	補正後被害原単位 (円/世帯) ④=②×③	世帯数 (世帯) ⑤	一時的被害額 (円) ⑥=④×⑤
50	12,030	0.995	11,970	21,787	260,790,390

石狩市における日常生活の漏水被害額 174,360,162,715 円
 (年平均被害額 5,448,755,084円)

※表中のマニュアルとは、社団法人日本水道協会発行の「水道事業の費用対効果分析マニュアル(案)改訂版」, pp.87-88, 平成14年3月.

表一 4 石狩市の日常生活漏水被害額 (累計)

- c. これに「平成14年工業統計表・市区町村編」(経済産業省経済産業政策局調査統計部)の粗付加価値額(表一5の上段⑤)を用い、上水道依存率(表一5の上段②)を勘案した一日当たりの金額を付加価値額(表一5の上段⑧と中段⑥~⑧)として設定する。
 - d. 次に一時的被害の推計を行うため、最大節水率に対する3分類での被害原単位(表一5の下段②~④)を設定する。
 - e. 以上のことを踏まえ、aの節水率別漏水日数とbの3分類での被害原単位、更にcの付加価値額を乗じて給水制限率別の経常的被害額(表一5の中段⑫)を算出した。またdの最大節水率に対する被害原単位に、工業統計表から上水道依存率を踏まえた製造品出荷額(表一5の上段④と下段⑤~⑦)を乗じて一時的被害額(表一5の下段⑪)を算定した。
- なお、その算出のための主な諸元を次のように仮定する。
- 対象期間については、先の「日常生活における漏水被害防止効果」で求めた被害日数とする。
- 石狩湾新港地域における工場の上水道依存率については、工業統計表⁽¹⁾より従業員30人以上

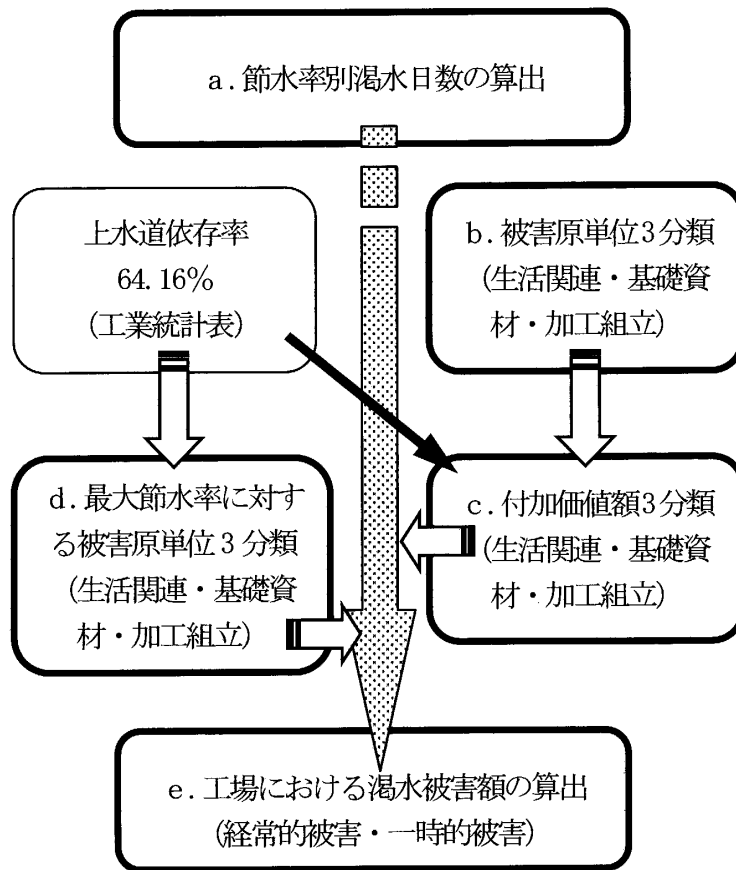


図-15 工場における漏水被害額の算出フロー

の全国工業地区食料品製造業水源別使用水量の実績値を踏まえ64.16%とする。

また工業用として使用される全水量のうち、上水道が占める割合を、本改善方策が実施されなかった場合の影響率と考え、この依存率を製造品出荷額及び一日当たりの付加価値額に乘じることにより、上水道の供給量不足による影響と仮定する。

以上のことを踏まえ、経常的被害額と一時的被害額を合算した同市における工場の漏水被害額を算出したところ、累計被害額は約68億円となった。よって本改善方策による防止効果は、年平均被害額の約2億円と算出された。

6. 結論と今後の課題

本研究では、地下水を水源とする小規模で分散した給水方式の管理運営上の問題点について、北海道石狩市を事例とし考察を行った。このことにより、同様の水道事業者が有する問題点をも明らかにさせつつ、その改善方策について現在計画の代替案を示し論考した。

本研究で明らかになった事業運営上の問題点と、それへの改善方策として得られた結論、および今後の課題については以下のとおりである。

表一5 石狩市の工場における濁水被害額（累計）

対象地域の付加価値額計算
(石狩市：工業統計表・市町村編)

業種	製造品出荷額等		付加価値額		一日当たり付加価値額	
	業種別 ①	補正出荷額 ③=①×②	区分計 ④=①③	業種別 ⑤	補正付加価値額 ⑦=⑤×⑥	区分計 ⑧=⑤⑦
生活関連型	食料・たばこ・製糖・製粉・製茶・飲料工業(衣服、その他の繊維製品を除く)・繊維工業(衣服、その他の繊維製品を除く)・木材・木製製品製造業(家具を除く)・家具・装具製造業・印刷業・紙・紙加工品製造業・印刷業・同梱製造業・その他	2,401,694 1,540,927	2,543,925	644,111	1,132	2,342
基礎資材型	石油製品・石炭製品製造業・プラスチック製品製造業(別掲を除く)・ゴム製品製造業・なめし革・同製品・毛皮製造業	0.6416 428,990	3,261,294	240,262	422	3,634
加工組立型	鉄鋼製品製造業・金属製品製造業・一般機械器具製造業・電気機械器具製造業・輸送用機械器具製造業・精密機械器具製造業	3,952,337 702,902	450,982	1,577,388 318,517	2,772 560	560
計			450,982			

制限段階	断水率 (%)	期間 (日)	被害原単位(衫警率) (マニユアル掲載)		付加価値額 (万円)		被害額 (万円)		
			生活関連型 ③	基礎資材型 ④	生活関連型 ⑥	加工組立型 ⑦	生活関連型 ⑨=②×③×⑥	加工組立型 ⑩=②×④×⑦	合計 ⑪=⑨+⑩+⑫
1次	5	292	0.0	0.0			0	0	0
2次	10	356	0.8	0.0			14,164	0	14,164
3次	15	1,418	1.6	0.2			53,195	10,306	63,501
4次	20	1,937	2.4	0.4			108,875	28,156	137,031
5次	25	1,801	3.2	0.5			134,974	32,724	167,698
6次	30	1,227	4.0	0.7	2,342	3,634	114,945	31,212	146,157
7次	35	565	4.8	0.9			63,515	18,479	81,994
8次	40	171	5.6	1.1			22,427	6,836	29,263
9次	45	37	6.5	1.3			5,633	1,748	7,381
10次	50	15	7.3	1.4			2,564	763	3,327
合計		8,219		2.0			679,291	168	679,459

最大断水率	被害原単位(1億円当たり)被害額(円)		製造品出荷額(億円)		一日の被害額(円)		
	生活関連型 ③	加工組立型 ④	生活関連型 ⑥	加工組立型 ⑦	生活関連型 ⑨=③×⑥	加工組立型 ⑩=④×⑦	合計 ⑪=⑨+⑩
50	56,930	11,291	254,3925	326,1294	45,0992	804,913	18,969,805
					17,848	3,682,327	6,811,879,805

石狩市における工場濁水被害
(年平均被害額 212,871,243円)

※表中のマニユアルとは、社団法人日本水道協会発行の「水道事業の費用対効果分析マニユアル(案)改訂版」p.89、平成4年3月。

- ① 地下水揚水による地下水環境へ及ぼす影響として、地盤沈下や塩水化そして地下水汚染の危険性などがあることから、一定規模以上の事業者にとって地下水を恒久水源とすることは、大きなリスクを抱えることとなる。
- ② 需要水量への補完水源として、他自治体からの分水がある場合には、自己水源である地下水に比べ分水料金が割高であることから、経営的観点より豊富に活用できない実情がある。
- ③ 分散した給水方式となっている事業者の場合には、保有する施設が多くなることから、老朽化が進む浄水施設の改修、そして耐震化などの新たな施設拡充のための投資が必要となり、事業運営は極めて厳しい環境下に陥りやすい体質にある。
- ④ 石狩市では各種問題点を改善させるため、企業団へ参画する政策をとっている。今回その政策が最善方策であるか否か、考え得る代替水源案を示しつつ比較検証した。

その結果、現時点では現計画以外に事業費が相対的に安価でかつ、維持管理費の節減が図れるなどの代替案が見当たらないことを明らかにした。

- ⑤ 投資効果の算出結果から、日常生活渇水被害防止額では年平均約55億円、工場における渇水被害防止額では年平均約2億円の効果があることを示した。

また今後の課題としては、

- ⑥ 将来的に地下水揚水を中止した際に、地下水環境への影響などは沈静化またはその危険性が大きく低減するという効果がある反面、地下水位が回復・上昇することによる地下構造物への漏水や、それら構造物自体が浮き上がるといった新たな懸念事項がある。恒久的水源の確保が実現した以降の新たな問題を想定した検討と、その後のモニタリング監視が必要と考える。

なお、そのモニタリング監視として必要な調査項目は、地下水位及び地盤変動調査、水質調査、地形地質に関する調査などがあるものと推察される。

- ⑦ 最終的には、関係地域の水収支を把握し、地下水流動系における涵養、流出量を明らかにすることによって、将来的な地下水解析を行うためのデータベース化などが広域連携の下で必要であると思われる。

これらの点は今後の研究課題としたい。

付 録

- (1)「上水道事業とは、計画給水人口が5,001人以上の水道事業をいう。簡易水道事業とは、計画給水人口が101人以上5,000人までの水道事業をいう。」
- (2)「石狩市では、昭和47年2月に花畔団地開発に伴う水道水の確保を図るため、隣接する札幌市へ分水依頼を行っている。その後同年8月に分水の承諾を札幌市より得て、昭和48年8月に分水に係る基本協定書を締結した後、更なる協議を継続し、昭和51年11月に分水契約を

締結している。実質的な分水の開始は同年12月からであり、その分水料金についてはその後も契約の改定を適時行われ、現在に至っている。」

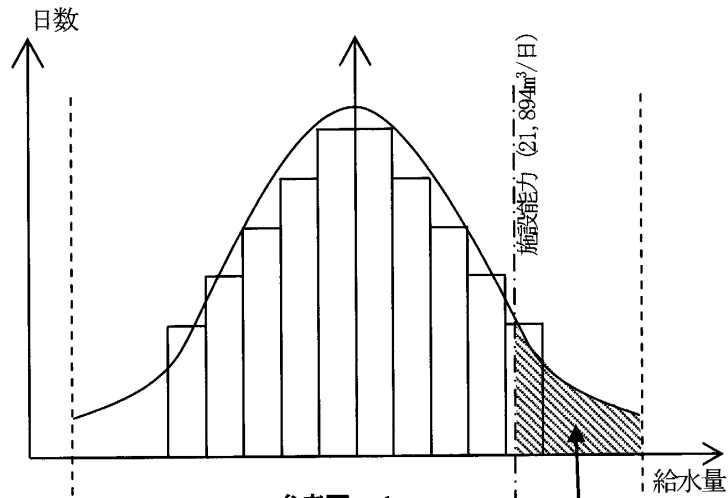
- (3)「地下水及び札幌分水別にて、原水及び浄水費、配水及び給水費、そして減価償却費や支払利息などを積み上げ、原水単価を算出したところ、平成11年度から15年度の5ヵ年平均で、札幌分水が地下水の概ね6倍と割高な原水単価となっている。」
- (4)「地下水の有効利用率とは、地下水による有効水量を総配水量で除した率である。」
- (5)「札幌分水比率とは、他自治体である札幌市からの受水量を総取水量で除した率である。」
- (6)「石狩市が政策転換を実行し、石狩西部広域水道企業団から脱退すると仮定した場合、これまでの事業の市負担分の起債残高の償還金を返還しなければならない。本論での試算では、平成14年度末で積算し加算している。」
- (7)「当初認可から政策転換するときには、これまで交付された国庫補助金を『補助金等に係る予算の執行の適正化に関する法律（平成11年7月16日改正）』第17条及び第19条に基づき、国庫補助金累積交付額に加算金を上乘せし国へ返金しなければならない。」
- (8)「石狩市単独で恒久水源を求め、なおかつ浄水場や導配水施設を建設するよりも、企業団に参画した方が、ダム建設で総事業費の2%程度、浄水場施設などでは総事業費の6%程度の財政負担で済んでいるという情勢にある。」
- (9)「図-13における Z_0 値は、参考図-1に示した施設能力（ m^3 /日）値を参考図-2の標準正規分布図に換算した値である。標準正規分布図において、この Z_0 値より左側は施設能力以下での需要が発生し、渇水被害が生じていない割合を示す。逆に Z_0 値より右側については、施設能力以上の需要が生じ渇水被害が生じている割合を示している。参考とした標準正規分布表を基に、 Z 値は $-3.69 \leq Z \leq 3.69$ の間に存在するものとした場合、日最大給水量が $Z=3.69$ に、日平均給水量が $Z=0$ に該当することから、比例計算により施設能力を標準正規分布図上に換算する。施設能力の Z_0 値への換算は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} \text{【換算式】 } Z_0 &= 3.69 \times (\text{施設能力} - \text{日平均給水量}) \\ &\quad \div (\text{日最大給水量} - \text{日平均給水量}) \\ &= 3.69 \times (21,894m^3/\text{日} - 17,044m^3/\text{日}) \\ &\quad \div (23,520m^3/\text{日} - 17,044m^3/\text{日}) = 2.76 \end{aligned}$$

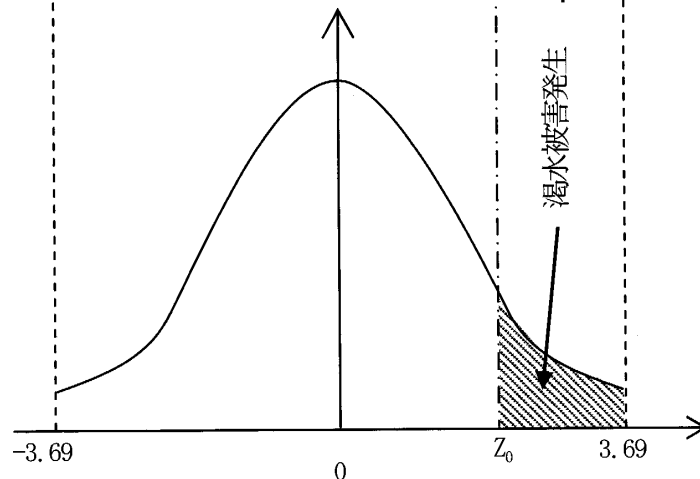
また節水率5%、10%における Z 値は、 Z_0 から3.69の間を均等分割して算定する。補正值は $(3.69 - 2.76) \div (10\% \div 5\%) = 0.47$ となり、各 Z 値は $Z_{5\%} = 2.76 + 0.47 = 3.23$ 、 $Z_{10\%} = 3.23 + 0.47 = 3.70$ （ $=3.69$, 最大値を超えるため）となる。

先に算定した各 Z_n 値における P_n 値を標準正規分布表から選定し、 $Z_{n-5\%}$ における $P_{n-5\%}$ との差を算出し、年間日数を乗じて節水率 $n\%$ の渇水被害発生日とする。なお P_n 値は標準正規分布において、 Z_n 値の時の中心軸（ $Z=0$ ）から Z_n までの間の面積であり、 Z_n が発生する割合

平成24年における
日平均計画給水量 (17,044m³/日)



参考図-1



参考図-2 (標準正規分布)

を示している。」

(10)「表-5に関して次のことを補足しておく。表中の付加価値額については「平成14年工業統計表・市区町村編」(経済産業省経済産業政策局調査統計部)による粗付加価値額を用いた。工業統計表によれば以下の算式による。

$$\text{粗付加価値額} = \text{製造品出荷額等} - (\text{消費税を除く内国消費税額} (\text{※1}) + \text{推計消費税額} (\text{※2})) - \text{原材料使用額等}$$

※1：消費税を除く内国消費税額＝酒税，たばこ税，揮発油税及び地方道路税の納付税額又は納付すべき税額の合計

※2：推計消費税額は平成13年度調査より消費税額の調査を廃止したため推計したものであ

り、推計消費税の算出にあたっては直接輸出分を除いている。

※3：従業者数29人以下の事業所が付加価値額算出に必要な減価償却額の調査を行っていないため、市区町村編では個々の事業所の製造品出荷額等を生産額と見なし、内国消費税額及び原材料使用額等を差し引いたものを粗付加価値額としている。」

(11)「平成13年度の工業統計表における、全国工業地区食料品製造業水源別使用量（従業員30人以上）の実績値を踏まえ、その平均値をもって上水道依存率と仮定した。」

参考文献

- 1) 北海道石狩市発行：『石狩21世紀プラン』，石狩市企画調整部，p.5，1995年3月。
- 2) 北海道石狩市発行：『石狩市統計書』，石狩市総務部，p.9，2004年3月。
- 3) 北海道石狩市発行：『石狩市水道事業変更認可申請書（第7期拡張事業）』，石狩市水道部，pp.1-2，1998年3月。
- 4) 全国簡易水道協議会発行：『水道事業実務必携』，全国簡易水道協議会，pp.95-103，2003年7月。
- 5) 『水道法』（昭和32年6月15日法律第177号）第10条第1項。
- 6) 社団法人日本水道協会発行：『井戸等の管理技術マニュアル1999』，日本水道協会，p.103，1999年3月。
- 7) 北海道石狩市発行：『平成16年上水道広域化施設整備事業の再評価（将来人口及び需要水量推計の概要）』，石狩市水道部，pp.1-24，2004年9月。
- 8) 建設省発行：『利水経済調査要綱（案）活用マニュアル』，建設省河川局河川計画課，pp.9-12，1997年3月。
- 9) 前掲：『利水経済調査要綱（案）活用マニュアル』，pp.13-16。
- 10) 田代嘉宏：『確率と統計』，裳華房，pp.1-2，1998年3月。
- 11) 総務省統計局ホームページ（H12基準）