	<p>(公財)水道技術研究センター 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 虎ノ門電気ビル2F TEL 03-3597-0214, FAX 03-3597-0215 E-mail <a href="mailto:jwrhot@jwrc-net.or.jp">jwrhot@jwrc-net.or.jp</a> URL <a href="http://www.jwrc-net.or.jp">http://www.jwrc-net.or.jp</a></p>
--	--

## デンマークの水セクター改革とベンチマーキング (その1)

### (はじめに)

デンマークは、国土面積が九州(約4.2万平方キロメートル)とほぼ同じの約4.3万平方キロメートル、総人口は兵庫県(559万人、2010年)よりやや少ない約554万人(2010年)であり、総人口で見ると、日本の人口(1億2,806万人、2010年)はデンマークの人口の約23倍になります。

一方、デンマークは世界有数の養豚大国であり、酪農も盛んであることから、水源を地下水に依存しているデンマークの水道では、肥料や農薬に起因する地下水汚染が大きな課題となっているとのことです。

さらに、小規模水道が数多く存在することから、水道事業の効率化等が求められており、デンマークでは、2009年5月に「水セクター改革法」が成立し、水道事業の公社化(Corporatisation)、ベンチマーキングなどが規定されました。

以下に、このような最近のデンマークの水道を取り巻く動向について、その概要を紹介することとします。

#### (参考1) デンマーク水道事業協会

Association of Waterworks in Denmark (FVD : Foreningen af Vandværker i Danmark)

<http://www.fvd.dk/FORSIDE.aspx>

#### (参考2) デンマーク上下水道協会

Danish Water and Wastewater Association (DANVA)

<http://www.danva.dk/Default.aspx?ID=10&TokenExist=no>

#### (参考情報1)

Corporatization of the water sector: Implications for transitioning to sustainable urban water management

<http://www.watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/WSUD2012-Fratini-et-al.pdf>

#### (参考情報2)

Danish Technology and Know-How for the Water Sector Danish Water Days November 2010

<http://www.wtc.dk/uploads/Bulgaria%20and%20Romania%202010/Water2010.pdf>

#### (参考情報3) デンマークにおける国と地方の役割分担

[http://www.mof.go.jp/pri/research/conference/zk079/zk079\\_09.pdf](http://www.mof.go.jp/pri/research/conference/zk079/zk079_09.pdf)

#### (参考情報4) デンマークの概要

- 1.面積 約4.3万平方キロメートル(九州とほぼ同じ)(除フェロー諸島及びグリーンランド)
- 2.人口 約554万人(2010年デンマーク統計局)
- 3.首都 コペンハーゲン(コペンハーゲン市の人口約68万人。)(2010年調査)

(出典) <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/denmark/data.html>

# 1. デンマークの水道事情

## (1) 背景

デンマークのほとんどは、白亜紀のチョーク、石灰岩、第三紀の砂及び粘土で覆われた第四紀の堆積物で構成されている。地形は、海面から最大 172 メートルの低平地である。低い地形と広範囲の帯水層により、豊富で容易に利用が可能な地下水水源が確保されている。

デンマークの農家は、肥料、糞尿及び農薬の集中的な使用による高度に開発された農業を営んでいる。デンマークの面積の 3 分の 2 は、年間 5 百万 m<sup>3</sup> の牛乳を生産する 50 万頭の牛のみならず、年間 25 百万頭の豚による豚肉の生産を有する農家によって管理されている。そのため、農業による汚染が、水道にとっての課題となっている。

デンマークの水道は専ら地下水に依存しており、また、政府の公式的な立場としては、水道水は消費者に配水される前にエアレーション、pH 調整及びろ過による簡素な処理のみを必要とする純粋に地下水に依存すべきであるということである。毎年、約 8 億 m<sup>3</sup> の水が取水されている。地下水は、50 ~ 350mm の範囲で、年間平均 100mm が涵養される。

デンマークにおける深層帯水層の地下水水質は一般的に良質であり、複雑で費用を要する浄水処理を不要としている。コペンハーゲンを除き、長距離の送水ネットワークにおいて水道水の塩素処理は行われず、蛇口の水はボトル水よりも良質である。

しかし、多くの浅井戸は、特に硝酸態窒素及び農薬による地下水汚染を被っており、最近数十年間において、多くの浄水場が閉鎖されるか、より深層に掘削することを強いられるか、又は近隣の水道から水道水を購入することを強いられている。

## 水源は依然として過剰取水されている

### Water resources are still over-exploited

1988 年、環境省は、取水された地下水の水質モニタリングを導入する「水道施設の水質及び管理に関する命令」を承認し、現在、取水された全ての地下水の最重要な指標の分析が行われている。地表水に対する負担を低減するため、如何なる目的の地表水の使用であれ、地下水に移行が徐々になされている。地下水取水は、一定の期間で許可が更新される必要があり、また、測定された年間取水量は年に 1 回、当局に報告されなければならない。灌漑については最大 15 年の許可である一方、水道事業については最長 30 年間の許可が与えられる。

過去 20 年間、水税及び節水キャンペーンにより、地下水取水が 3 分の 1 以上減少している。しかし、モデルによると、特に人口密度の高いデンマークの東部地域において、依然として過剰取水となっている。地下水の硝酸態窒素汚染により、比較的浅い帯水層に依存している多くの小規模水道が閉鎖に追い込まれている。特に郊外地域における農薬汚染により、幾つかの主要な井戸区域が閉鎖されている。廃棄物の処分及びその他の点源からの浸出水により、幾つかの水道用井戸が閉鎖され、また、幾つかの水道事業は、主に帯水層の過剰取水によるニッケル汚染の被害を受けている。

1991 年から 2005 年に期間において、もっぱら農薬又はその分解・代謝物 (degradation products (metabolites)) の含有物により、水道取水用井戸としての 1,306 井戸が閉鎖され、また、依然として毎年約 100 井戸が農薬含有物によって閉鎖されている。

## EU 指令に適合するための課題

### The challenge to comply with EU directives

デンマークの地下水の現在の課題は、次の 5 つの EU 指令に示されている。

- ・硝酸塩指令 ( Nitrates Directive)
- ・水枠組み指令 (Water Framework Directive)
- ・地下水指令 ( Groundwater Directive)
- ・飲料水指令 ( Drinking Water Directive)
- ・農薬指令 (Pesticide Directive)

硝酸塩指令では、地下水の水質は硝酸態窒素として総体として 50mg/l を超えてはならないとしている。

(訳注) EU 硝酸塩指令における「硝酸態窒素に係る水質基準」は、(硝酸塩として) 50mg/l

→窒素換算:  $50\text{mg/l} \times \left[ \frac{\text{N}}{\text{NO}_3} \right] = 50\text{mg/l} \times \left( \frac{14}{62} \right) = 11.29\text{mg/l} (\approx 10\text{mg/l})$

(参考) 日本の水道水質基準は「硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素」として、(窒素換算で) 10mg/l

水枠組み指令及び地下水指令に従い、全ての地下水水域において良好な地下水の状態が達成されなければならない。これは、次の全ての項目を満たさなければならないことを意味する。

- ・硝酸態窒素 < 50 mg/l
- ・農薬及び代謝物 < 0.1  $\mu\text{g/l}$
- ・農薬及び代謝物 (総計) < 0.5  $\mu\text{g/l}$
- ・濃度は、その他の関連する EU 地域法制に基づいて適用される質に関する基準を超過してはならない。
- ・地下水の水質は、関連する水 (地表水) の環境上の目的の不達成、その水域の生態学的又は化学的な質の劣化、または、地下水水域に直接依存する陸域生態系に対する重大な被害を招かないこと。
- ・電気伝導度の変化は、地下水水域への塩分又はその他の侵入の指標として捉えてはならないこと。

さらに、地下水の量は、河川の一定の最低限の水量を常時保証するものでなければならない。デンマークには 385 の地下水水域があり、4つの流域地域内に分布している。

### デンマークにおける特定地域の地下水保護ゾーン設定の基礎としての水文地理学的マッピング

#### Hydrogeological mapping as a basis for establishing site-specific groundwater protection zones in Denmark

1991年、デンマーク政府は水道水にとって特に価値のある区域の地下水保護の改善を図るため、地下水取水区域の分類を含む、地下水及び水道水の保護のために 10 地点を提示した。

1997 年末までに、デンマークは水道水の利益の度合に応じて、水道水の利益にとって特に価値のある区域、水道水の利益にとって価値のある区域、そして、水道水の利益にとって価値の少ない区域として、分類を行った。この分類は、全ての地下水水源の規模及び質の評価に基づいている。

これに続いて、1998年、特に水道水の利益にとって価値のある区域及び公共水道の流域として指定されたデンマークの 40% (17,000 km<sup>2</sup>) における地下水水源の空間密度水文地質学的マッピング (a spatial dense hydrogeological mapping) を行うこととなる決定が行われている。消費者は、マッピングのために 1m<sup>3</sup> 当たり 0.07 ユーロの課徴金を支払わなければならない。4 人家族の場合、年間約 12 ユーロを支払うこととなる。マップは、地下水汚染を防止するため、地域特定の地下水保護ゾーン及び関連した土地利用規制を設けるために用いられる。地域特定の地下水保護ゾーンの基本的な概念は、幾つかの地域は他の地域よりも地下水汚染に対してより脆弱なことである。

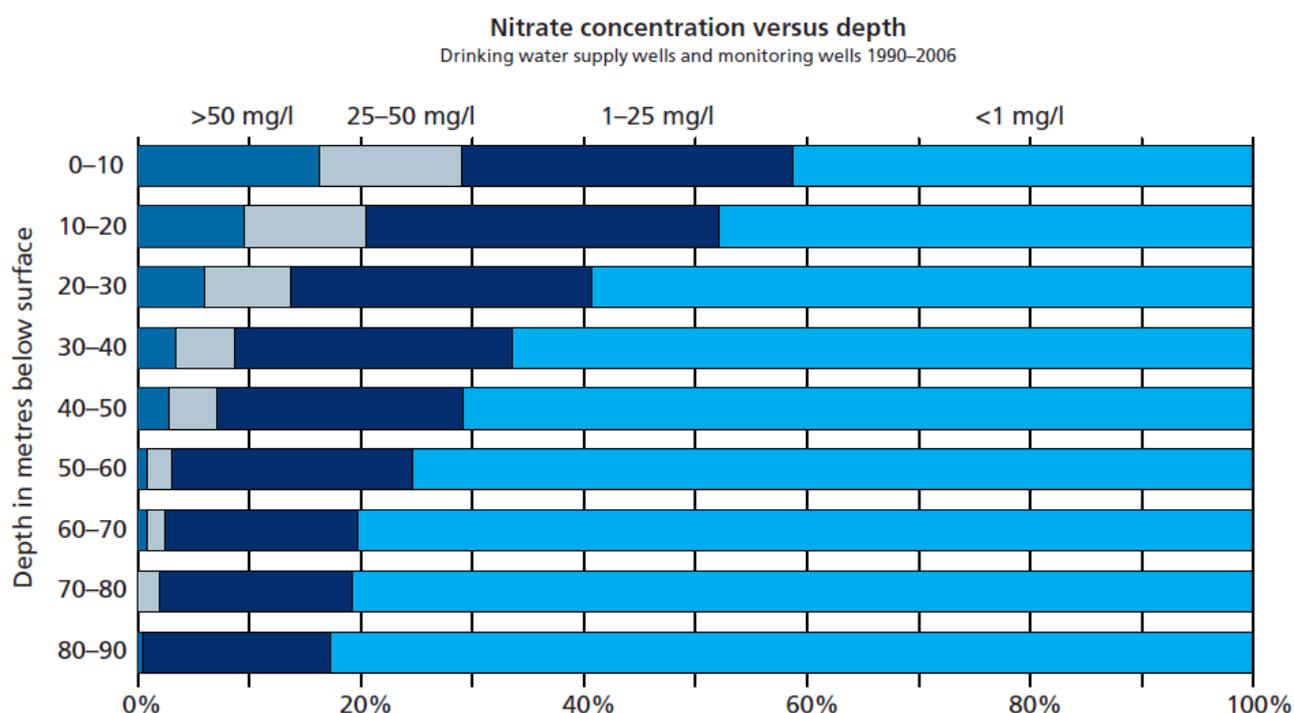
### 硝酸態窒素に関する課題

#### The challenge with nitrate

水道用井戸は一般に長いスクリーンを有しており、主要な地下水層における硝酸態窒素濃度の分布に関する代表的な情報を提供することができる。しかし、地下水取水井戸は硝酸態窒素の最大許容濃度 50 mg/l よりも低い濃度での水道水の生産を確保することを意図していることから、当該井戸からの情報はバイアスがかかっている。

地下水モニタリング井戸は、デンマークの地下水における全般的な硝酸態窒素汚染をより正確に描写するものである。1998~2004 年において、全体の井戸の 16.9% において硝酸態窒素の平均濃度は水道水の最大許容限度を超過していたが、一方で、約 60% の井戸は硝酸態窒素 1 mg/l 未満であった。

硝酸態窒素濃度の深度別分布  
水道用井戸及びモニタリング井戸（1990～2006年）



過去半世紀にわたり、農業用の肥料の使用は劇的に増加した。モニタリングスクリーンからの地下水は CFC（クロロフルオロカーボン）を用いて時期が調べられ、硝酸態窒素の最高値は肥料の使用の増加を反映していることが実証された。しかし、予備データによると、1979 年以降、農家は肥料や糞尿の散布方法を変更していることから、現在、硝酸態窒素汚染は低下傾向が続いている。

### 塩水化した地下水に関する課題

#### The challenge with saline groundwater

デンマークでは、沿岸地域や古代の海水によって影響を受けている帯水層から取水している地域において、地下水は高濃度の塩化物を含有している。デンマークを取り巻く水の海面は、年代を通じて大きく変化しており、また、深い帯水層の多くは、例えば、前期石器時代や間氷期の閉じ込められた古代海水を含んでいる。

### ニッケル及びヒ素に関する課題

#### The challenge with nickel and arsenic

無機微量元素からの最も広範な影響は、黄鉄鉱、黄鉄ニッケル鉱及びその他の硫化物を含む重金属類の酸化に由来するニッケルによるものである。2001 年に実施された EU 飲料水指令のデンマークでの国内法制化により、ヒ素の最大許容濃度値が  $50 \mu\text{g/l}$  から  $5 \mu\text{g/l}$  に引き下げられたことから、ヒ素に関する懸念が高まることとなった。現在、地下水モニタリングプログラムにおけるモニタリング井戸スクリーンの 9% が  $5 \mu\text{g/l}$  を超過している。幸い、ニッケル、ヒ素及びその他の微量元素の大部分は鉄とともに沈降し、砂ろ材に残留している。

### 農薬及び代謝物に関する課題

#### The challenge with pesticides and metabolites

農薬及びそれらの代謝物は、全ての水道用井戸及びモニタリング井戸の 25% 以上で検出されている。最も多く検出される農薬グループは、トリアジン類及びそれらの代謝物で構成される。これらの化合物は、農業地域及び都市地域でともに一般的に検出される。農業流域において、トリアジン類及びそれらの代謝物は記録された全ての農薬及び代謝物の約半分を占める。

## 水道は綿密に調査される Water supply is closely surveyed

### デンマークにおける公共水道の監督 Public water supply administration in Denmark

デンマークでは、計画及び行政機関は3つの政府レベル、すなわち、国、州、市町村で実施される。法制度は国によって成立し、7か所の国家環境センターが水枠組み指令のもとに水に関する計画に責務を有する。州の行政は古い廃棄物の投棄及びその他の汚染箇所からの汚染の修復に責務を有する。市町村は、取水許可及び汚染に対する水資源の保護に関する行政に責務を有する。

取水許可の行政は、地域の国家環境センターが策定した水資源計画によって規定される。水資源計画は、各98市町村によって策定された水の供給及び保護計画の枠組みとなるものである。

1980年から2005年にかけて、汚染等によって年平均で52の水道が閉鎖された。デンマークでは、2005年において、158の公有水道及び2,464の公共共同体所有水道（common partnership-owned water supplies）が登録されている。水道事業者は、水道目的のための地下水取水がほとんどを占めている。約5万世帯のみが、手掘り井戸又は機械掘りの浅井戸から直接給水している。

大きな課題は、水道水質基準に適合するために新たな井戸区域又は深い帯水層を見つけることであった。可能な場所では、多くの都市汚染源から離れた空き地に井戸区域を移転することであった。これを達成するため、水道事業者は1998年に開始された水文地質学マッピングを用いた。市町村の地下水保護計画の実施は、地下水汚染を回避するための条件である。

### 水セクターをより効果的なものとするために Making the water supply sector more effective

最近、大規模水道事業者は、質、環境、給水の安全性及びユーザーの需要に基づいた効率性に焦点を当てたベンチマーキングシステムを通じて、水道セクターをより効果的なものとすることに焦点を当ててきている。

数年間、消費者は節水イニシアティブに焦点を当てている。以前のトイレが1回の洗浄で8~10ℓであるのに対して、最新のトイレは2~4ℓを使用する。10%以下の漏水は非課税（tax-free）となることから、水道事業は配水ネットワークからの漏水に焦点を当ててきている。1997年から2006年にかけて、配水ネットワークからの漏水は9%から6%に減少している。配水ネットワークの最適化及び漏水の検知のための条件は、ネットワークの網羅的な登録。そして、例えば、デンマーク水理研究所による、ネットワーク計算のための先進プログラムの開発である。

水道事業者からの水道水の総消費量は、1980年の605百万m<sup>3</sup>から、2005年には400百万m<sup>3</sup>に減少している。

水セクター内における最新の効率性に関する活動は、エネルギーの効率化及び省エネである。「Grundfos」は、10%以上エネルギー効率のよい新たなポンプを開発しており、また、来る数年以内にかかなりの省エネが実現されることが期待されている。

（訳注）「Grundfos」：デンマークのポンプメーカー

こうして、水道事業者は、二酸化炭素の排出を低減することにより、気候変動への取組みを支援している。

デンマークの78の水道事業者が2007年ベンチマーキングに参加しており、これはデンマークの消費者の45%をカバーしていることとなり、その結果、水道事業者は過去6年間に、販売水道水量1m<sup>3</sup>当たり20%の水生産費用を低減している。

1980年代以来、水道セクターにおける節水は重要な課題となっている。全ての消費者に対する個別水道メーターの導入により、幾つかの水道では早々に最大40%の節水がみられている。上下水道サービスは、測定された供給量に従って支払われる。

水税（water taxes）及び水道水への付加価値税の導入により、水料金が上昇した。許可水量及び取水水量は水税の対象となる。許可水量に関する税は、水源の良好な管理に向けた金額を減らす目的を有している。取水税は、3つの目的を有している。第一は純粋に財政面であり、第二は地下水の節水で

あり、第三は水道事業者が配水ネットワークにおける漏水を低減することを奨励するものであり、取水量の10%までは非課税とするものである。

## 税及び賦課金

### Taxes and levies

オーラス市 (Municipality of Aarhus) の2008年の水価格は、以下のとおりである。

(訳注) €1=¥110として換算

* 1 m <sup>3</sup> 当たり総価格	5.40 ユーロ (594.0 円)
・ 1 m <sup>3</sup> 当たり水道水料金	1.22 ユーロ (134.2 円)
・ 1 m <sup>3</sup> 当たり水道水国賦課金	0.83 ユーロ ( 91.3 円)
・ 1 m <sup>3</sup> 当たり地下水マッピング及び保護金	0.07 ユーロ ( 7.7 円)
・ 1 m <sup>3</sup> 当たり下水処分賦課金	3.24 ユーロ (356.4 円)
・ 1 m <sup>3</sup> 当たり下水国賦課金	0.04 ユーロ ( 4.4 円)
* 水道メータ年間レンタル料	54.00 ユーロ (5,940 円)
* 価格には25%の付加価値税が含まれている。	

例えば、年間に170 m<sup>3</sup>を使用する平均的な世帯における上下水道サービスの料金合計は、2008年価格で年間約900ユーロ(99,000円)であり、平均世帯収入の約1.6%である。

ミネラルウォーターのボトル価格と比較しても、水道水は非常に安い。新鮮で純粋な水道水は、1リットル当たり0.5ユーロセント(約0.55円/ℓ)の総価格で蛇口に届けることができる。

## 教訓

### Lessons learned

## 水道

### Water supply

- ・ベンチマーキングの実施は、効率性及び給水水質に焦点を当てており、良好な結果が達成されている。水道水質は改善され、生産費用はちょうど数年で20%減少している。
- ・水道メーターの導入により、早々に最大40%節水することができる。
- ・水道料金は節水に重要であり、例えば、節水型トイレのように、家庭での節水方策を消費者が用いる動機となる。さらに、水税は節水を支援するものとなる。
- ・例えば、「Grundfos」の新しいエネルギー最適化ポンプに交換することによる10%の省エネといったように、省エネには大きな可能性がある。
- ・ネットワーク登録及び漏水調査を通じた配水ネットワークの最適化により、漏水を6%まで減少することができる可能性がある。
- ・地下水の分散型取水により、地表水への影響範囲が減少する。しかし、EU 法制の実施による要求を満たすためには、小規模水道事業者が協力することが重要である。

## 地下水の保護

### Groundwater protection

- ・詳細な水文地質学マッピングは、井戸区域の集水ゾーンを効率的に保護することができる重要なツールである。包括的なマッピングは、土地所有者が土地利用制限を受け入れやすくするものである。
- ・公衆の参加は、地下水保護の行動計画を実施するために非常に重要である。
- ・地下水モニタリングは、地下水水質を記録するために重要である。
- ・地下水モデリングは、水収支、取水、集水ゾーン及び気候変動に対するシナリオを計算するために重要なツールである。

以下によって、保護ゾーンでの汚染された地下水を修復することが可能である。

- ・国全体における農業用栄養素使用の規制は、硝酸塩による地下水への圧力に対して一定の効果を示している。古い廃棄物処分場及び都市域の汚染現場における修復及び予防のためのポンプ揚水により、点源の数が減少している。農家との合意により、農薬散布装置洗浄場所からの汚染が減少している。
- ・農薬の規制により、農地及び都市地域からの汚染が減少している。
- ・植林 (afforestation) は、流域の永続的な保護を達成するために効果的な方法である。来る 80 年以内にデンマークの森林地域を 2 倍にすることがデンマークの政策である。

## 地下水モニタリング

### Groundwater monitoring

(省略)

(出典) Water supply in Denmark

[http://www.geus.dk/program-areas/water/denmark/vandforsyning\\_artikel.pdf](http://www.geus.dk/program-areas/water/denmark/vandforsyning_artikel.pdf)

(文責) センター専務理事

安藤 茂

---

### 配信先変更のご連絡等について

「JWRC水道ホットニュース」配信先の変更・追加・停止、その他ご意見、ご要望等がございましたら、会員様名、担当者様名、所属名、連絡先電話番号をご記入の上、下記までEメールにてご連絡をお願いいたします。  
〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 虎ノ門電気ビル2F (公財) 水道技術研究センター ホットニュース担当

E-MAIL : [jwrchot@jwrc-net.or.jp](mailto:jwrchot@jwrc-net.or.jp)

TEL 03-3597-0214 FAX 03-3597-0215

また、ご連絡いただいた個人情報は、当センターからのお知らせの配信業務以外には一切使用いたしません。

### 水道ホットニュースのバックナンバーについて

水道ホットニュースのバックナンバー (第58号以降) は、下記アドレスでご覧になれます。

<http://www.jwrc-net.or.jp/hotnews/hotnews-h24.html>