



Title	水の衛生と水道技術、そしてこれからの水道を考える
Author(s)	三輪, 雅幸
Citation	makoto. 2019, 187, p. 2-7
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/85515
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

水の衛生と水道技術 そしてこれからの水道を考える

元大阪市水道局水質試験所
所長 三輪 雅幸

1 はじめに

私たちの暮らしを支える水道は、多くの先人の努力によって築き上げられています。そこで大阪市の水道事業に35年間携わった立場から、その取り組みの一端をご紹介したいと思います。

水道のことを考える上で、まず水の重要な性質に触れておきます。それは、いろいろなものを溶かし込みやすいことです。洗濯により汚れが落ちるのは水のこの性質があるからです。しかし、言い換えれば、水は非常に汚れやすいとも言えます。単なる土汚れだけでなく、有害な金属や化学物質、病原細菌にも非常に汚染されやすいのです。水道はこの性質とこれまでずっと闘い続けて来たと言っても過言ではありませんし、これからも闘い続けていかなければなりません。

水道が直面する問題は、それだけではありません。わが国は人口減少期に入っています。人口減少は様々な社会インフラの維持管理や整備・更新に影響を及ぼすことはよく知られています。水道も例外ではありません。水道料金の値上げ問題にとどまらず、水の衛生確保がおぼつかなくなる事も想定されるのです。

そこで、本稿を、大阪市の水道における浄水技術を中心にした「水の衛生と水道技術」と、人口減少への対応を軸とした「これからの水道を考える」の2部構成で書きたいと思っています。なお、あちこちで行った講義や講演の内容を、使用したスライドとともに寄せ集めた内容になりますので、つながりの悪さはどうぞご容赦ください。

2 水の衛生と水道技術

2-1 近代水道の創設

現在私たちが目にしている水道システム

は、いわゆる近代水道と呼ばれるものです。近代水道は、鉄管などの閉じた導水管を用い、ろ過などの処理をした飲用に適する浄水をポンプによって圧力をかけて広範囲に連続して供給する水道施設として定義されます。

このような近代水道が世界で始まったのは1804年のスコットランドで浄化施設が作られたのが最初と言われています。しかしその後1820年代になると、ロンドンでは水源であるテムズ川の汚濁による水道水の汚染が問題となり、水道水が「Monster Soup（得体のしれない水）」とまで揶揄（やゆ）されるようになりました（図-1）。そして1831年、ロンドンは飲み水を介したコレラの流行を経験します。コレラ流行の防止のため、この後1855年から水を砂の層でゆっくり濾す緩速砂ろ過法が導入され、威力を発揮しました。一方アメリカでは、1882年に薬品によって濁りを効率的に取り除く急速ろ過法が考案され、さらに1910年頃、塩素による一層の衛生管理が可能となる消毒法が確立されました。



図-1 Monster Soup

（大英博物館、William Heath 1828年作）

ロンドン・テムズ水道会社からの水道水の水滴に潜む怪物を発見し、思わずティーカップを落とす女性。1831年には、ロンドンは最初のコレラの流行を経験する。そして、その後の1855年にロンドンで砂ろ過処理（緩速）が義務づけられるようになる。

わが国の近代水道の創設は、1887年の横浜市での水道建設に始まります。その3年後の1890年には国の法律として水道条例が制定され、その後10年あまりで函館、長崎、大阪、東京、神戸と次々と水道が整備されていきます。大阪で水道が建設されたのは1895年のことで、緩速ろ過法が採用されました。わが国においても、水道普及の背景にはコレラの流行がありました。当時大きな港を有する都市を中心に、海外からコレラが持ち込まれ、水系感染症が頻繁に流行していたことによるものです。

2-2 水道による水系感染症の撲滅

わが国では1877年以降、コレラなどの水系感染症が毎年のように発生し、特に1879年、1886年には死者が年10万人を超えることもありましたが、近代水道の普及とともに水系感染症の発生数は激減しました。

図-2に、大阪市での水道普及と水系感染症患者の発生率（10万人当たり）の推移を棒グラフとして示しました。1945年頃までは毎年10万人当たり100人から200人の患者数であったのが、1945年以降になると、水道水への塩素注入力（△のマーカー、破線）の増加が図られ、それとともに患者の発生がほぼ見られなくなりました。

水道での塩素消毒の徹底は、全国的にも進み、わが国の水系感染症による10万人当たりの死者数は、1945年以前には35人前後でしたが、その後の30年程度でおよそ1万分の1

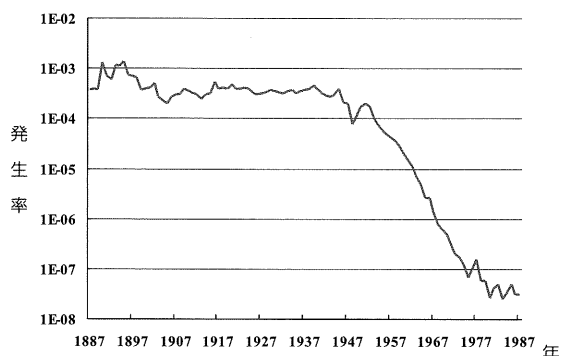
の0.0035（ほぼ0）人程度にまで急減しました（図-3）。

図-4は、一昨年（2017年）の10万人当たり主要死因別死亡率を国の統計値から作図したものです。交通事故による死者数は10万人当たり3人ですが、じつにその10倍以上の人命が水道水の普及により救われている計算になります。

以上のような衛生状態の改善に、塩素消毒された水道水が暮らしの隅々まで供給されるという水道システムの確立が大きな役割を果たしているのは間違いありません。近代水道の普及により、私たちは相当に安全で衛生的な暮らしを手に入れたと言えます。

2-3 水道法と塩素消毒

衛生的で清浄な水が将来的にも供給されるようにするため、水道法第4条（水質基準）で「清浄な水」として水道により供給される水の備えるべき要件が定められています（水質基準としては省令で現在51項目の微生物や化学物質について遵守すべき濃度基準が設定



参考文献 厚生省：水道制度百年史 タイヨー出版（1990）

図-3 全国の水系感染症による死亡率の推移

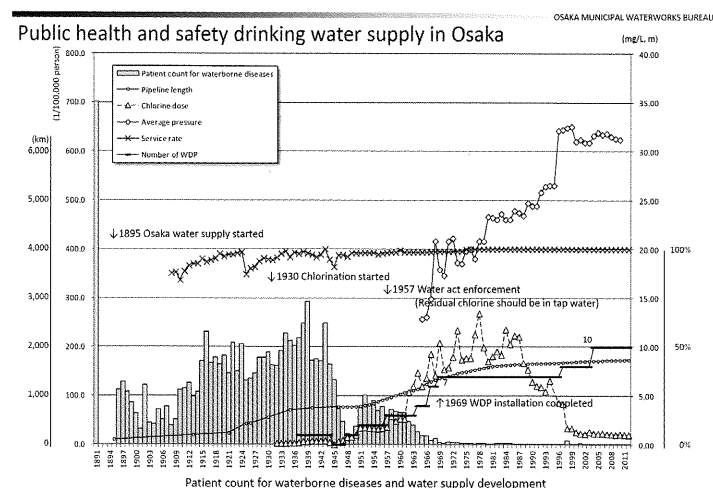


図-2 大阪市での水道普及と水系感染症患者の発生率（10万人当たり）の推移

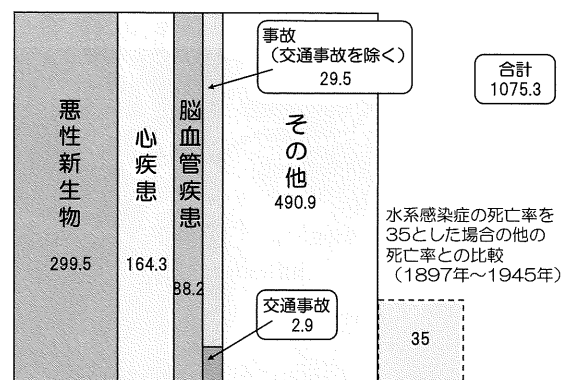


図-4 2017年主要死因別死亡率（人口10万人当たり）

されています)。さらに第22条(衛生上の措置)では水道事業者が衛生上必要な措置を講じることとされ、その内容を定める施行規則第17条において水道水には塩素による消毒が義務づけられています。

塩素消毒について少し触れておきましょう。浄水工程における塩素消毒は、病原細菌の殺菌の目的で使用され、法令で蛇口での遊離残留塩素濃度を0.1mg/L以上確保するように求められています。このように、塩素消毒が考案されてからすでに100年以上経過した現在でも、塩素は水道水の最も重要な消毒剤として世界中で用いられています。それは、塩素の消毒効果が大きく確実であり、水道水に使用する濃度の範囲では人体に安全であること、消毒の効果が後々まで残ること(残留塩素)、大量の水に対しても容易に消毒できることなどの利点があるためです。

そのため塩素は、消毒用としては万能の薬品と思われていたのですが、1970年頃から、原料の水にフミン質などの有機物が含まれると、水道水中の塩素と反応して発ガン性のあるトリハロメタンが生成されることがわかってきました。衛生上塩素消毒の果たしている役割は大きく、塩素消毒を代替する他の方法も見つかりません。そこで、水道事業者は、塩素による消毒を継続しつつ、この新たな課題への対応が求められることとなり、大阪市では後で述べます高度浄水処理を導入する契機となりました。

2-4 大阪市における浄水処理の変遷

大阪市の衛星写真と水道水源である琵琶湖・淀川水系との関係を図-5に示します。

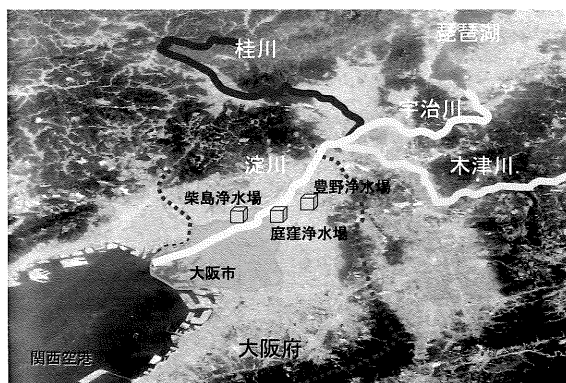


図-5 琵琶湖・淀川水系と大阪市の浄水場

琵琶湖・淀川水系は現在、上流の水源地域に500万人が暮らし、その生活排水や工業活動に伴う排水が下水処理場を経由して淀川水系に流入しています。一方下流では、1100万人以上の人々が、同じ淀川の水を水道として利用しています。

図-6は、淀川の最下流で取水する大阪市水道局柴島浄水場の原水について、およそ100年間の過マンガン酸カリウム消費量および一般細菌数の変遷を示しています。1950年代、淀川の水質は排水負荷の増大により急速に悪化しました。現在は国と地方自治体などの取り組みもあり水質は相当回復したものの、その間、大阪市では水質悪化への対応のため浄水方法の変更を余儀なくされました。

水道創設時からの緩速砂ろ過法は、汚濁負荷の急増にともなう有機物やアンモニアによる汚染に対しては対応の限界を超えており、大阪市ではこれに変えて、原水のアンモニアを塩素により分解する不連続点前塩素処理の導入と、凝集剤を用いた凝集沈殿・急速砂ろ過処理の導入に踏み切りました。そして近年、前述のように水道水中の塩素と有機物が反応して生成するトリハロメタン等の問題が社会問題化して水道水質への関心が高まることとなり、オゾン処理と粒状活性炭処理を加えた高度浄水処理の導入に至りました。

2-5 高度浄水処理技術の開発と水道水の安全性の保証

大阪市の水道は創設以来、様々な課題に直面し、その都度、施設の拡張や新たな処理技術の導入などにより乗り切ってきましたが、琵琶湖での夏場のかび臭発生や、トリハロメ

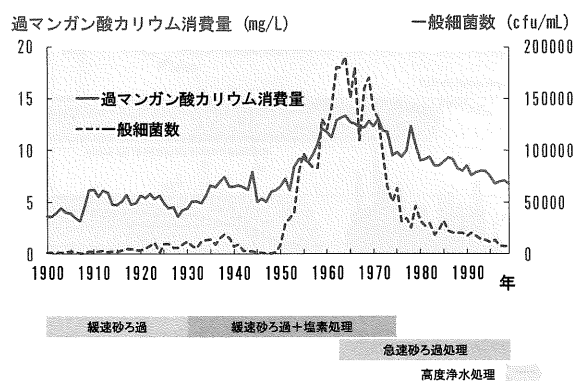


図-6 柴島浄水場原水水質と浄水処理の変遷

タンの生成への対応については多くの時間と労力を要しました。

当時不評であったかび臭の原因となる物質やトリハロメタン、その生成の原因となる有機物、これらは全て水に溶け込んでいる物質であり、主に濁りを取り除くことを目的とした凝集沈殿・急速砂ろ過処理では除去できないことがわかっていました。そこで大阪市では1981年頃からそれらを粉末活性炭で除去する方法や、微生物の酸化力を利用する方法など様々な処理方法について研究し、当時ヨーロッパでもすでに導入され始めていた、オゾン処理と粒状活性炭処理(図-7)を組み合わせる方法が有効であることをつきとめました。

それは、従来の処理方法の後、かび臭の原因物質やトリハロメタンを生成する有機物をオゾン処理により分解し、さらに粒状活性炭のろ過層で除去してから塩素消毒を行うことにより、かび臭やトリハロメタンを長期間にわたって低減する方法で、高度浄水処理と呼んでいます(図-8)。

高度浄水処理は2000年の導入からすでに20

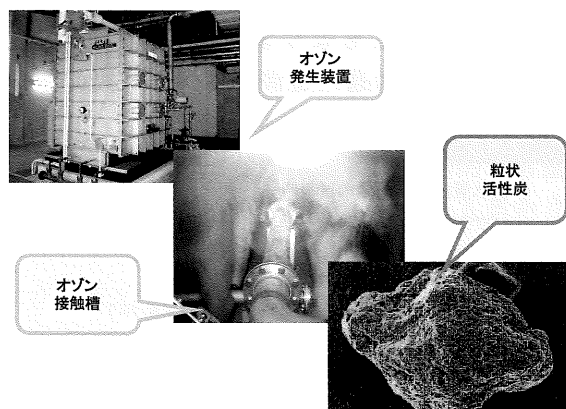


図-7 オゾン処理と粒状活性炭処理

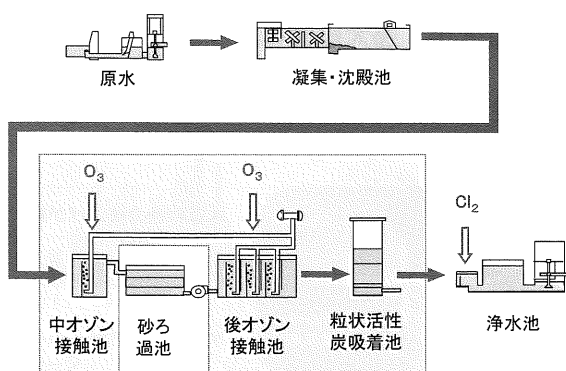


図-8 高度浄水処理フロー

年近くが経過していますが、導入当初から現在に至るまで、かび臭がなく、トリハロメタンも十分除去され、総合的に改善された水質の水道水を供給しつづけています。

一方、このようにして得られた水道水の高い品質と安全性を保証するため、大阪市では、水質基準51項目及び水質管理目標設定項目24項目について水質検査を実施するとともに、市が独自に設定した水質項目についても水質監視を継続しています。特に、将来問題となる可能性のある物質については、最新の分析技術を駆使し、水源での存在実態調査や浄水処理性調査などに取り組んでいます。

3 これからの水道を考えるードイツ東部の水道事業に関する事例研究からー

後半は、水道がかつて経験したことのない人口減少問題への対応について書きたいと思います。人口減少問題は、水道などの都市インフラ整備のあり方に大きな影響を与えるとされ、水の衛生にも大きく関わる問題として捉える必要があります。そこで、これからのわが国の人口減少社会における水道インフラ整備のあり方を考える際の参考として、東西ドイツの再統一後の旧東ドイツ地域における人口減少下の水道事業に発生する問題やその対策を通して、今後の水道整備のあり方について考察します。

3-1 ドイツの再統一と人口減少社会

日本は急速に人口が減少していく最初の先進国と言われており、世界的にも経験したことのない、人口減少社会で生じる様々な課題への対応が求められています。しかし、地域・都市という点で見れば、いくつかの先例があります。たとえば東西ドイツ統一後の旧東ドイツ地域では、20年以上前に、社会的な要因による人口減少があったことが知られています。

再統一時のドイツ東部の状況は、それまでの水道設備の深刻な老朽化と西ドイツの基準に満たない水道水質という問題を早急に解決するため、さらには、再統一後のドイツ東部への移住による人口増加と産業の発展を期待して、大規模な投資による水道インフラ整備

が進められていました。ところが、実際には期待とは真逆のことが起こり、ドイツ西部へ人口が流出して人口が急速に減少し、それと同時に工業などの産業も衰退しました。

3-2 再統一後のドイツ東部

図-9は1991年から2005年にかけての人口増減を変化率で示したもので、人口増の地域がドイツ西部に、一方人口減の地域は東部に偏っています。これは、再統一後に東部から西部へ、あるいは東部から国外への大きな人口移動があったことを示すものです。また同じ東部でも人口減少に地域差があり、例えばハレ市の郊外に位置するザーレ郡では、1991年以降ハレ市からの移住により人口が増加する一方、ハレ市では15年間で人口が20%減少しました。

3-3 水道インフラにおける過大設備の発生

ハレ市に限らず、ドイツ東部では、水道利用者そのものの減少、さらには地域の産業構造の変化や衰退、節水志向の高まりも加わり、水需要が局所的に少なくなったコールドスポットと呼ばれる地域がいくつも出現し、これらの地域では、人口減少の割合以上に水需要が減少し、結果として、水道インフラの多くが過大設備となりました。

過大設備の影響として、図-10に示すように上水道では、配水管内の流量と流速が低下し沈殿物が沈着しやすくなります。また滞留時間の増加はバクテリアの再増殖など水の衛生状態の劣化につながります。それらの対策

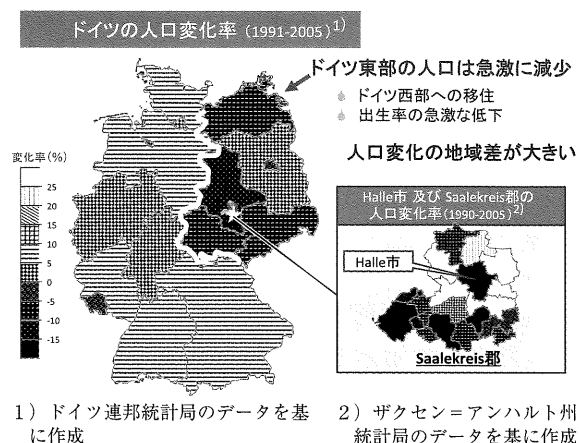


図-9 再統一後のドイツ東部

として管内洗浄の実施や消毒の追加が必要となるケースも発生しました。

このような過大設備を抜本的に解決するため、配管網の規模を縮小することも行われましたが、技術的に限界がありました。また小口径配水管への入れ替えも進められたものの、防火用水等への利用も考慮しなければならず、一定程度の口径の管路を維持しなければなりません。地域によっては一部の浄水場や下水処理場の稼働を停止する対応がとられました。

3-4 経済面での影響

過大設備の問題は経済面でも顕著な影響を及ぼします。インフラの維持管理費などは一定であり、1人あたりの固定費が増大し、さらに収入の減少が追い打ちをかけ、事業体によっては、やむを得ず料金値上げを実施したところがありました。しかし、このような料金値上げによる対応は、水需要の減少や人口の流出をさらに進め、料金値上げが続くという悪循環を発生させることにつながり、結果として、住民の水道の運営方針への不満を生じさせる原因ともなりました (図-11)。高い水道料金や水道の運営方針への住民の不満

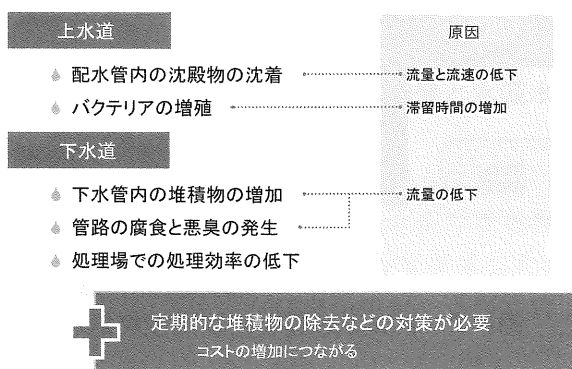


図-10 過大設備により生じる問題

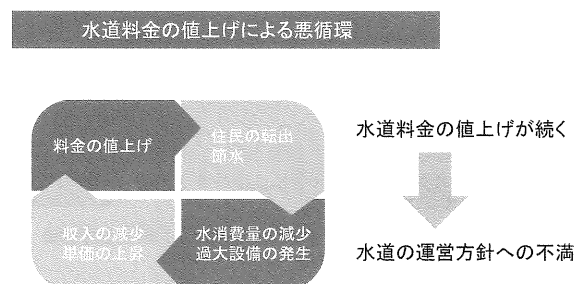


図-11 料金の値上げによる影響

は、最終的には陳情やデモ行進などの抗議活動につながり、政治的、社会的な問題にまで発展することもありました。

3-5 水道インフラ特性上の課題

以上のように、水需要の増加を前提に設計されてきた水道インフラは、設計時と異なるトレンドへの順応が困難という特性があり、過大設備への対応は水道事業体にとって厄介な問題であることは言うまでもありません。すなわち、給水区域内の過大設備を解消したくても、水道インフラは緻密なネットワークを形成していることから、段階的な廃止は容易でなく、その一方で住民の移住などで給水区域の周辺部で新たな開発が進めば、そこに新たなネットワークを拡張させることが求められます。さらに過疎の地域では、人口が減少することによりサービスの質が低下し、極端な場合、公共サービスそのものが不可能となる場合もあります。

過大なインフラを生じさせないためには、適切な規模の水道システムを設計することが重要であることは言うまでもありません。しかし、その根幹となる水需要量の予測には必ず不確実性を伴い、ドイツ東部の事例でも明らかにように正確な予測は難しいということを認めておかなければなりません。

3-6 ドイツ東部の事例から見た水道インフラ整備に対する教訓と課題

(1) 計画立案の考え方について

ドイツ東部で見られたように水道インフラが過大設備となる事態を避けるためには、わが国においても、人口減少下におけるインフラ整備のあり方について、既存の方法にとらわれず抜本的に見直す必要があると考えられます。例えば、全国一律のサービスを前提とするこれまでのインフラ整備の考え方は、人口が減少していく社会ではもはや適応し得ないのではないのでしょうか。この点、わが国では、これまでも小規模集落における多様な給水手法の検討を始めとしていくつかの検討例がみられています。

また、将来計画を立案するにあたっては、

まずは不確実性と変動があることを認める必要があると言えるでしょう。こうした将来の水道システム整備のあり方を見直すにあたっては、水道に関わるすべての関係者に対する説明責任を十分に果たし得る意思決定手順を水道システムの設計過程に組み込む必要があると考えます。

さらに、民間との連携、ベンチマークによる水道サービスの質・費用の透明性の向上など水道事業者や消費者の選択を広げる取り組みや、上述の柔軟な取り組みを支援できるよう制度設計を見直すことも必要でしょう。

(2) 技術ニーズについて

これまで各種インフラは、長寿命化、恒久化といった固い（長期利用可能な）整備が推進されてきたと言え、水道施設・設備も、これまでは頑健で長持ちするものをつくることに尽力してきたと考えることができます。これに対して、縮小局面では、インフラをモジュール化することや、寿命そのものを短命化（もしくは長寿命化と短命化の組み合わせ）するというコンセプトが必要となるのではないのでしょうか。

例えば、複数の小さなユニットを繋げた柔軟なネットワーク構造にしておくことで、システムの構成要素の停止や付加を容易にすることが可能となり、ある地域における将来の需要変化や、場合によっては撤退にも対応可能となると考えられます。

そして、このような観点から、人口減少・水需要減少社会に望まれる技術の開発・整備が急がれるとともに、制度・仕組みの観点からは、とりあえず10年程度もてば良い施設・設備を設計したり導入しても良いというコンセプトも必要になるのではないのでしょうか。

参考

左巻健男, 池田圭一. やっぱり安心 水道水. 水道産業新聞社, 2008

三輪雅幸, 伊藤禎彦. 急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究. 水道 vol.63, No.2: 8-17, 2018.