水道経営指標群を用いた気候変動に対する 適応力評価手法の検討

大山 秀格¹・川本 圭彦¹・小池 亮¹・森本 達男¹
小熊 久美子²・荒巻 俊也³・滝沢 智²

¹パシフィックコンサルタンツ株式会社 国土保全事業本部（〒206-8550 東京都多摩市関戸 1-7-5）

E-mail: Hidenori.Ooyama@tk.pacific.co.jp

²東京大学 大学院工学系研究科 都市工学専攻（〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1）

³東洋大学 国際地域学部 国際地域学科（〒112-8606 東京都文京区白山 5-28-20）

気候変動は水道の水量・水質に影響を与える可能性があるが、影響の受けやすさや受けにくさは各水道事業により異なる。本研究では各水道事業の気候変動による影響の受けにくさと、影響を受けた際の対応力を組み合わせた複合評価指標（CPI）を提案し、全国の水道事業体の適応力を共通指標で評価した。水道の取水、浄水、送配水の各々にCPIを開発し、評価結果を給水規模別や地域別に表し、日本地図に表示した。その結果、適応力は水道事業体の規模や地域により大きな違いがあり、特に小規模な水道事業体は適応力のばらつきが大きいことが明らかになった。さらに、CPIに水道事業の財政力や管路老朽化に関する指標を加えた水道経営指標群を用いて水道事業の気候変動適応力を総合的に評価する方法を提案し、適応策立案の支援ツールとして活用できることを示した。

Key Words: *adaptation, climate change, combined performance indicator, vulnerability, water supply*

1. はじめに

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第5次評価書^{1),2)}によると、将来の気候変動は、緩やかな気候の変化だけでなく、極端な高温現象や大雨の発生頻度を増加させる可能性が高く、将来、水供給や電気等の重要な社会インフラの機能停止をもたらすリスクが高まっている。そのため、海外では国レベルでの取り組み^{3),4)}が進められつつある。また、気象庁の気候変化予測⁵⁾によると、将来、日本の年平均気温は約3℃上昇し、低緯度より高緯度、夏季より冬季の気温上昇が大きいとされている。年間降水量は全国的に増加するが、これには豪雨発生頻度の増加による寄与が大きいため、反対に無降水日数も増加すると予測されている。

気候変動による水道事業への影響としては、渇水による水源水量の減少、集中豪雨に伴う急激な濁度上昇による取水停止、湖沼やダムなどの水温上昇に伴う富栄養化による異臭味被害などが想定されており⁶⁾、これまでに豪雨に伴う断水事故が発生している^{7),8),9),10)}。一方、厚生労働省がまとめた「新水道ビジョン」では、時代や環境の変化に的確に対応

し、安全・強靱・持続の観点から長期的な視点で水道事業経営に取り組むことが求められている¹¹⁾。

これに対応して、気象変動等による水道水源（河川表流水）の濁度上昇への対策として、水道原水の濁度ピークを推計する濁度上昇予測ツール¹²⁾が検討されている。また、東京都水道局などの大規模事業体では気候変動の適応策を検討している¹³⁾が、個別の事業体での検討事例にとどまっている。一方で、海外の事例を見ると、USEPAは、Climate Ready Water Utilitiesの報告書の中で、水道事業体が気候変動に備えるために、Awareness, Adaptation, Mitigation, Policies, Community, Partnershipの6つの視点を提示している¹⁴⁾。このため、我が国の水道事業全体を考えた場合、水道事業の規模や地域によらず、全国規模で水道事業体の気候変動に対する適応力を評価するための指標と評価手法の開発が求められている。

全国の水道事業体を対象とした気候変動への対応に関する研究事例としては、水道技術研究センターが、気候変動による水道原水水質の変化項目等に関するアンケート調査（39事業体・100浄水場）を行っているが、水質障害や取水停止等の事例や対応策を示したものの¹⁵⁾にとどまっており、全国の水道事

表-2 複合評価指標 (CPI)

複合評価指標	取水・導水プロセス：CPI-1	浄水プロセス：CPI-2	送水・配水プロセス：CPI-3
概要	渇水時・豪雨時に対する量的な水道システムの安定性。	渇水時・豪雨時に対する質的な水道システムの安定性。	渇水時・豪雨時に対する量的・質的な水道システムの補完機能。
第一指標	計画1日最大取水量(海水淡水化+深井戸+浅井戸) 1日最大給水量		
第二指標	水源余裕量 (計画1日最大取水量-年間取水量/365) 1日最大給水量	急速ろ過池 年間浄水量 年間取水量 (ダム直接+ダム放流+表流水+伏流水)	配水池総容量+緊急貯水槽容量 1日平均給水量

表-1 評価対象事業体数 (2010) ^{18), 19)}

	5万人以上	5万人未満	5千人以下
全事業体数	436	988	6,638
評価対象事業体数	433	953	5,892
除外した事業体数	3	35	743

算出においては、先に掲げた水道統計や業務指標など既存のデータベースを積極的に活用した。

2. 気候変動適応力の評価手法

(1) 適応力評価の考え方

本研究では、水道事業体の気候変動適応力は、気候変動による影響の受けにくさと影響に対する水道システムの対応力の2つの指標により評価すべきであるとの考えのもとに、それぞれを第一指標、第二指標として、これら2つの指標を組み合わせる複合評価指標 (Combined Performance Indicator, CPI) を作成した。水道の取水・導水、浄水、送水・配水プロセスに対応する複数のCPIを開発し、それぞれのプロセスにおける水道事業体の気候変動適応力を評価した。また、将来の事業実施に向けた意思決定を支援するため、CPI指標に加えて、将来の投資に必要となる財政力や管路施設の老朽化度に関する2つの指標の評価を追加した水道経営指標群を開発し、水道事業体の気候変動への適応力を総合的に評価した。

本研究が対象とした気候変動の影響は、気候変動が水道システムに与えるさまざまな影響のうち、「少雨による水源水量の減少と水質悪化」と「豪雨による水源水質の悪化(濁度上昇)」とした。これらの気候変動による影響は、一般に、河川やダムなどの地表水ほど受けやすく、地下水では受けにくいと考えられる。

(2) 評価対象とした水道事業体

評価は水道事業体の規模別(給水人口5万人以上、5万人未満、5千人以下)や地域別に行った。なお、評価値の算出に用いた平成22年度水道統計¹⁸⁾、平成22年版簡易水道統計¹⁹⁾において、データが欠損している事業体や記載データに不備がある事業体は評価対象から除外した(表-1)。

業の気候変動適応力を評価する手法は提案されていない。

一方、全国規模で整備されている水道事業のデータとしては、水道統計、簡易水道統計などがある。これらは、各水道事業の経営状況や施設を把握するデータとしては有効であるが、気候変動への適応力を直接的に評価する項目は含まれていない。また、簡易水道統計は、水道統計と比べてデータ項目が少なく、評価可能な項目が限られている。

これらに加えて、全国の水道事業を主に経営的な指標により評価・分析する手法としては、水道事業ガイドラインJWWAQ100¹⁶⁾の業務指標(Performance Indicator, PI)が提案されている。しかし、PIは、個別の業務の現状を評価する尺度としては有効であるが、経営的な指標に偏っており、複数の業務を組み合わせる評価すべき気候変動への適応力評価には有効ではない。これらのことから、わが国の水道事業の気候変動に対する適応力を全国規模で評価するためには、各水道事業の影響の受けにくさや、影響に対する対応力を総合的に評価できる新たな指標を考案する必要がある。

そこで本研究は、全国の水道事業体の気候変動に対する適応力を評価するため、水道事業体の取水・導水、浄水、送水・配水プロセスに関する指標と経営に関する指標を組み合わせたものを「水道経営指標群」として提案し、現在の適応力評価と、将来の適応策立案に資することを目的とした。既報¹⁷⁾ではプロセスごとに複数のPIを抽出して適応力を評価したが、本論文では影響の受けにくさを表す指標と影響が発生した場合の対応力を組み合わせることで、各プロセスにおける適応力を評価するための新たな指標を開発した。全国の水道事業体の個別の指標値の

図-1 CPI 値の算出法と評価ランク

(3) 複合評価指標 (CPI)

水道システムに対して気候変動の影響が発生した場合、水道の取水・導水、浄水、送水・配水のそれぞれの段階で適応策が考えられる。そこで、本研究では、気候変動に対する水道の適応力について、「取水・導水」、「浄水」、「送水・配水」のそれぞれのプロセスで複合評価指標 (CPI) を開発した。以下に、表-2 に沿って、それぞれの CPI について説明する。

①取水・導水プロセス：CPI-1

第一指標：各水道事業者の一日最大給水量に対する、深井戸および浅井戸、海水淡水化による計画一日最大取水量の割合。一日最大給水量に対して地下水（深井戸・浅井戸）、海水淡水化の占める割合が高い事業者ほど、渇水・豪雨に対し影響を受けにくいと考えられるためこの指標を選定した。用水供給を受ける水道事業者については、受水量と自己水量の割合に基づいて指標値を算出した（以下、同じ）。

第二指標：一日最大給水量と水源余裕量（計画一日最大取水量と年間平均取水量との差分）との割合。渇水時及び豪雨時は、確保している全水源水量を取水できないため、水源の余裕が多い事業者ほど、渇水時に適応力があるだけでなく、豪雨により水質が悪化した場合も、濁度ピーク時の取水を避けて取水するなどの操作が可能となることから適応力が高いと考えられる。

②浄水プロセス：CPI-2

第一指標：CPI-1 と同様に、一日最大給水量に対して地下水（深井戸・浅井戸）、海水淡水化の占める割合が高い事業者ほど、渇水・豪雨時における水源水質の変動が少ないため、渇水・豪雨に対し影響を受けにくいと考えられる。

第二指標：各水道事業者の表流水等の年間取水量と急速ろ過池による年間浄水量との比率。浄水処理方式として急速ろ過方式を採用している事業者ほど、浄水機能として渇水・豪雨に対する適応力が高いと考えられる。なお、ここで想定した水質変化は、

豪雨時については濁度上昇と、渇水時については鉄・マンガン濃度の上昇である。鉄・マンガンについては、急速ろ過方式の浄水フローにある前塩素・中間塩素処理によって除去可能であるため、緩速ろ過方式や膜ろ過方式に比べ適応力が高いと考えられる。

③送配水プロセス：CPI-3

第一指標：CPI-1 と同様に、一日最大給水量に対して地下水（深井戸・浅井戸）、海水淡水化の占める割合が高い事業者ほど、安定した送配水機能が確保されるため、渇水・豪雨に対し影響を受けにくいと考えられる。

第二指標：各水道事業者の一日平均給水量と、配水池総容量（浄水池、配水池の合計容量）と緊急貯水槽容量（災害用の応急給水槽の合計容量）の合計容量との比率。配水池総容量と緊急貯水槽容量が大きい事業者ほど、飲料水量が確保できていることになるため、送配水機能として渇水・豪雨に対する適応力が高いと考えられる。

ここで、過去に豪雨により断水が生じた事例では、事故発生後、概ね 1 日程度で応急給水が実施されていることから、気候変動に対しては配水池容量として 1 日分の容量を確保していることが望ましいとした。また、渇水は徐々に状況が変化することから給水制限、応急給水等、事前の準備が可能である。そのため、一日平均給水量を評価基準とした。

(4) CPI 評価値の算出

CPI の第一指標（気候変動による影響の受けにくさ）と第二指標（気候変動への適応力）は補完的な関係にあり、第一指標の値が大きければ、即ち気候変動の影響を受けにくければ、第二指標の値が小さくとも気候変動に適応可能である。また、第一指標の値が小さく影響を受けやすくても第二指標の適応力が高ければ適応可能となる。このような補完関係を示す計算式として、第一指標と第二指標の加算法、単純平均法、二乗平均法の 3 つの方法を検討した。まず、第一指標と第二指標の値がともに 0.5 であった場合、加算法では CPI 値が 1.0 となるが、二乗平均では、0.7 となる。この場合は、加算法では CPI 値を過大に算出しているが、二乗法で算出した CPI 値は妥当な値である。同様に、単純平均法と二乗平均法を比較すると、第一指標値が 1.0、第二指標値が 0（ゼロ）の場合に、単純平均法では CPI 値が 0.5 となり、二乗平均法であれば CPI 値は 1.0 となる。これらの試算から、第一指標と第二指標のどちらかの指標値が高ければ全体の評価である CPI 値も高くなるという補完関係を表すには、二乗平均法が適切であると判断した。そのため、図-1 に示す通り、原点か

らの距離を二乗平均法で表す式(1)により計算した値をCPI値とした。その上で、図-1に示すように、求めたCPI値によって、評価1(最も適応力が低い)から、評価5(最も適応力が高い)まで評価ランクを分類した。

$$CPI = \sqrt{(\text{第一指標})^2 + (\text{第二指標})^2} \quad \text{式(1)}$$

(5) 気候変動適応力の総合評価

各水道事業体の気候変動適応力の総合評価は、CPI(CPI-1・2・3)に、経営力の評価指標(財政力指標、非老朽化管路指標)を加えた水道経営指標群により行い、各指標値をレーダーチャートに表すことで総合的な適応力を評価した。

①財政力指標

水道施設を更新するためには多くの費用を要するため、適正な財政力を確保する必要がある。ここでは、業務指標のデータを活用して、「1-{企業債残高/(給水収益×10年)}」を財政力指標とした。企業債残高が多ければ、新たな投資をしにくい状況にあるが、その場合でも給水収益が大きければ、短期間で企業債を返還し、新たな投資を行うことができる。そこで、水道統計から企業債残高/給水収益の比を求めたところ、給水人口5万人以上の水道事業体では、全ての事業体で10倍以内であった。即ち、企業債残高は、給水収益の10年分以下であることから、指標としては、企業債残高と給水収益の10年分の額との比率を求め、これを1から引くことで、企業債残高が少ない事業体ほど、指標値が大きくなり1に近づくように工夫した。

②非老朽化管路指標

我が国の水道施設の多くは高度経済成長期に建設されたため、施設の老朽化とそれに対する更新が課題となっている。水道事業においては、老朽化した施設が多いほど、将来必要な投資額が増える。そこで、施設の老朽化度に関する指標として、水道施設投資の過半を占める管路施設に注目し、施設の老朽度に関する業務指標(法定耐用年数40年経過管路延長/管路総延長)を活用して、非老朽化管路の割合「1-(法定耐用年数40年経過管路延長/管路総延長)」を非老朽化管路指標として定義した。なお、同業務指標では管路の耐用年数は管種によらず40年としている。

また、簡易水道統計では総合評価に必要な統計値が整備されていないことから、簡易水道事業は総合評価の対象外とし、上水道事業のみを評価した。

(6) 全国マップの作成

図-1に示した方法でCPIの評価結果を5段階にランク分けし、全国の水道事業体の適応力評価ランクを日本地図上に表すことで(以下、全国マップ)、水道事業の気候変動に対する適応力を可視化した。

全国マップ作製においては、水道事業体ごとの水道地図データをもとに空間データとしての給水区域データ²⁰⁾を作成し、これを各水道事業体のCPI評価値ランクと重ね合わせてGIS上に表示した。

3. 気候変動適応力の評価結果と考察

全国の水道事業体の気候変動に対する適応力の評価結果を、表-3および図-2~9に示す。

(1) CPI-1

図-2、図-3に給水人口5万人以上の水道事業と、5万人未満の水道事業についてのCPI-1の計算結果を示す。どちらの図も、評価ランク1から5までに幅広く分布しており、事業体ごとの特徴を明らかに示す指標として適当であることがわかる。

表-3はCPIの評価ランクを地域別にまとめた表であり、地域ごとの事業体数、評価ランクの割合(%)を、評価ランク別の影響人口とともに示している。CPI-1全体では、4,362事業体(59.9%)が評価ランク4・5となり、気候変動に対し水源・水量面での適応力が高い事業体が多い。一方、適応力が低い事業体(評価ランク1・2)は1,884事業体(25.9%)存在し、影響人口は約2,773.9万人である。地域別では、北海道・四国では全国平均と比較して評価ランク5の比率が低く、評価ランク1の比率が高い。これは、北海道・四国では井戸から取水している事業体が少なく、表流水やその他の水源(湧水、沢水等)から取水している事業体が多いため、第1指標の値が小さく、さらに水源余裕量が少ない事業体が北海道・四国に多いため、第2指標の値もまた小さくなることによる。一方、関東・中国では井戸から取水している事業体の割合が多いため、全国平均と比べて評価ランク5の比率が高く、評価ランク1の比率が低い。

図-4は給水人口5万人以上、5万人未満、簡易水道といった規模別にそれぞれの評価ランクに該当する事業体の比率を示している。給水人口5万人以上の水道事業体では、評価ランク5の事業体数が95事業体と多くはなく、5万人未満や簡易水道で評価ランク5の事業体の割合が高いことは対照的である。これは、5万人以上の水道事業では主な水源が表流水であることと、水源余裕率が小さいことに起

表-3 CPI 評価ランクの地域別分布と影響人口

		地域別の事業体割合								評価ランク 別割合	評価ランク 別影響人口(千人)
事業体数		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州		
		382	798	577	1,800	798	755	595	1,575	7,278	123,082
CPI-1	評価 ランク	5	38.0%	49.5%	53.2%	48.7%	41.2%	58.7%	44.7%	48.8%	22,777
	4	10.7%	12.8%	12.5%	10.2%	16.1%	11.9%	11.9%	11.2%	11.9%	21,494
	3	19.6%	14.0%	16.5%	14.2%	15.7%	10.9%	11.8%	14.2%	14.3%	51,052
	2	14.9%	12.9%	12.1%	14.3%	14.1%	10.2%	16.0%	12.6%	13.3%	26,001
	1	16.8%	10.8%	5.7%	14.6%	12.9%	8.3%	15.6%	13.2%	12.5%	1,738
CPI-2	評価 ランク	5	33.8%	41.6%	66.4%	41.2%	47.4%	51.3%	33.4%	44.4%	62,969
	4	20.8%	10.7%	13.3%	8.6%	15.2%	11.7%	6.7%	12.3%	11.5%	50,669
	3	4.7%	4.5%	4.2%	4.4%	4.4%	6.1%	2.7%	6.2%	4.8%	4,878
	2	4.7%	2.4%	1.2%	2.7%	2.3%	4.2%	0.8%	4.2%	2.9%	2,059
	1	35.9%	40.9%	14.9%	43.0%	30.8%	26.8%	56.3%	32.9%	36.0%	2,487
CPI-3	評価 ランク	5	75.4%	85.8%	84.7%	85.2%	85.9%	92.5%	82.7%	83.4%	73,239
	4	17.5%	7.0%	10.1%	8.3%	7.0%	4.5%	10.1%	9.5%	8.7%	40,483
	3	6.5%	3.9%	4.3%	4.7%	4.4%	1.9%	4.4%	4.9%	4.4%	8,523
	2	0.5%	2.4%	0.7%	1.4%	2.6%	0.8%	1.8%	1.7%	1.6%	802
	1	0.0%	0.9%	0.2%	0.3%	0.0%	0.4%	1.0%	0.6%	0.4%	15

図-4 CPI・規模別の評価ランクの分布

図-2 CPI-1 計算結果 (5万人以上)

図-3 CPI-1 計算結果 (5万人未満)

因している。一方、5万人以上の水道事業体においては、評価ランク1の数は、7事業体と少なく、評価ランク2～4の事業体が多い。その理由として、5万人以上の水道事業体は、第1指標（深井戸、浅井戸）の割合は低いものの、第2指標（水源余裕量）をある程度確保しているためと考えられる。給水人口5万人未満の水道事業体では、評価ランク5の事業体が466事業体と多いが、これは、小規模な水道事業では地下水を水源とし、水源に余裕のある事業体が多く、さらに、計画給水量に対して、実際の給水量が少ない事業体が多いことによる。その一方で、評価ランク1の水道事業体も上水道事業で35事業体、簡易水道では871事業体あり、小規模水道の適応力にはばらつきが大きい。

CPI-1の評価ランクを日本地図上に表したものが図-5である。同図から、東京、名古屋、大阪などの大都市圏では、評価ランク2～3が多く、その周辺で評価ランク4～5の事業体が分布している。これは、大都市から離れるにつれて地下水を水源とする事業体の割合が増えることや、水源に余裕があるためと推定された。一方、評価ランク1の事業体は、中山間部の小規模な事業体が多いことがわかる。将来の人口減少や一人あたりの水使用量の減少は、計画1日最大取水量が変わらなければ、CPI-1の評価ランクを上昇させる傾向にある。

図-5 全国マップ (CPI-1)

図-6 全国マップ (CPI-2)

図-7 全国マップ (CPI-3)

(2) CPI-2

全国の水道事業と簡易水道事業の全体では、4,093事業体(56.2%)が評価ランク4・5となり、全体的に気候変動に対し水質面での適応力が高い事業体が多い。一方、評価ランク1・2で適応力が低い事業体も、2,840事業体(39.0%)存在し、その影響人口は約454.6万人である。評価ランク1・2の影響人口を事業体数で割った平均給水人口は、約1,600人であり、簡易水道事業の約46%(2,710事業体)が評価ランク1・2であることから、評価ランク1の水道事業は小規模な上水道事業や簡易水道事業が多いことがわかる。このように評価ランク1・2に小規模な水道事業体が多い理由は、これらの水道では表流水を水源としているものの、水源水質が良好であるため、緩速ろ過や塩素滅菌のみを行っていることによる。

地域別(表-3)に評価ランクの分布をみると、東北・中部・四国において評価ランク1・2の事業体数が多い。これを図-6からみると、東北・中部・四国では小規模な水道や簡易水道の割合が高く、このため評価ランクが低い事業体の割合が多いことがわかる。同様に、北海道や紀伊半島、九州の一部にも、評価ランク1の水道事業体が分布している。将来の人口減少や一人あたりの水使用量の減少は計画1日最大取水量が変わらなければ、CPI-2の評価ランクを

上昇させる傾向にある。

(3) CPI-3

CPI-3全体では、6,188事業体(84.9%)が評価ランク5となり、気候変動に対する貯水量面での適応力が高い事業体が多い。一方、適応力が低い事業体(評価ランク1・2)は、148事業体(2.0%)存在し、影響人口は約81.7万人となる。特に、評価ランク1に該当する事業体は、簡易水道の32事業体のみとなっている。

一方、評価ランク4・5に該当する事業体は、水道事業体の規模(給水人口5万人以上、5万人未満、簡易水道)に関わらず90%を越えており、全国的に多くの水道事業体は配水池容量などの貯水量からみた適応力が高い。将来の人口減少や一人あたりの水使用量の減少は、日最大及び日平均給水量の減少を招くため、CPI-3の評価ランクは上昇する傾向にある。このことは、給水量の減少により、気候変動による豪雨や渇水などの緊急時に対応した貯水能力が給水量に比べて高める傾向にあるものの、平常時には過大な配水池等貯水施設規模となる恐れがある。このため、将来の施設更新においては、気候変動のみでなく、将来の水需要変化に応じて適切な配水池等の規模を算定する必要がある。

図-8 A市 総合評価（給水人口5万人以上）

図-9 B町 総合評価（給水人口5万人未満）

図-7に示すとおり、CPI-3については、地域別の分布に大きな偏りはなく、同様な分布を示している。その理由としてCPI-3は評価ランク4・5の事業体が90%を越えており、大きな偏りが見られないためと考えられる。

(4) 気候変動適応力の総合評価

以上の節では個別のCPI指標の評価ランクについて考察を行った。次に、これらのCPI指標に加えて、財政力指標と非老朽化管路指標の2つの経営指標を加えて水道経営指標群とし、それぞれの水道事業体について気候変動に対する適応力を総合的に評価した。総合評価では給水人口5万人以上の事業体（433事業体）、給水人口5万人未満の事業体（953事業体）を対象とし、統計データが不足している簡易水道は除外している。これまでに述べた各CPIの算出結果から、事業規模によって適応力に大きな違いがあると考えられたため、事業規模別に総合評価を行った。例として、事業規模5万人以上の水道事業体と、5万人未満の水道事業体からそれぞれ1ずつ選んで評価した結果を図-8と図-9に示す。同図には、参考としてそれぞれの規模別の中央値も示した。

A市では5つの評価指標の全てで中央値を下回っており、全般的に気候変動適応力が低い。特にCPI-1の値が低く、安定した水源の確保が課題であることがわかる。これに対する対策としては、周辺の事業体との連携や安定した水資源の確保が考えられる。

B町も全ての指標について、5万人未満の水道事業の中央値を下回っているが、特にCPI-1、CPI-2、及び財政力指標が低い。幸いなことに、非老朽化管路指標は中央値に近いので、老朽化管路の割合はそれほど高くない。このため、水道料金の適切な改定などにより財政力を高め、安定した水源の確保や、浄水施設の機能向上を図るべきと考えられる。

5. 結論

本研究では、全国の上水道事業体と簡易水道事業体の気候変動への適応力を、共通の指標群によって評価する手法を提案した。そのため、統計項目の少ない簡易水道統計にも記載されている基礎的なデータを用いて適応力を評価するための指標を作成した。水道事業の気候変動に対する適応力評価は、気候変動による影響の受けにくさと、影響を受けた場合の対応力を組み合わせて行うべきであると考えに基づき、これらの指標を組み合わせた複合指標（CPI）によって適応力を評価した。指標値の計算においては、水道統計や業務指標など既存のデータを積極的に活用することにより、全国の水道事業体の気候変動適応力の評価が可能となることを示した。

さらに、CPIによる水道事業体の適応力の評価結果を、規模別、地域別に集計し、また日本地図に示すことで、地域や規模による適応力の違いを明らかにした。その結果、CPI-1～3の全てのCPIで、最も高い適応力を示す評価ランク5に分類された事業体の割合が高かったものの、評価ランクの分布は、事業体の規模や、地域によって大きな違いが見られた。特に、小規模な上水道事業や簡易水道では最も低い評価ランク1に分類される事業体の数が多く、地域別では北海道、中部、四国などで評価ランクが低い事業体の割合が高かった。また、評価ランクの算出結果を日本地図上で表すことで、大規模な水道事業体が少ないか存在しない地域や、山間部、半島の先端など、評価ランクが低い事業体の分布を明らかにすることができた。

CPI指標に管路の非老朽化指標と財政力指標を加えた水道経営指標群による総合評価では、各事業体の気候変動対応力の特徴を明らかにし、水道経営指標群が気候変動適応策立案の支援ツールとして活用できることを示した。例えば、水源の種類等の変更し難い場合、CPI-2に関係する浄水処理で対応する

か、あるいは施設更新時に CPI-3 に基づき、気候変動に配慮した、配水施設の検討が可能になると考えられる。

本研究の成果である水道経営指標群は、将来の気候モデルのダウンスケーリング技術の進歩に合わせて、ダウンスケーリングの結果を組み合わせた気候変動適応力の評価を行うことや、さらに将来の人口動態から水需要の変化や給水収益の変化を予測し、長期的な気候変動に対する適応力の評価や適応策強化へ展開することが期待できる。

謝辞

本研究は、環境省環境研究総合推進費 S-8「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」の一部として行われた。

参考文献

- 1) IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G. -K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- 2) IPCC: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.
- 3) U. S. Environmental Protection Agency : National Water Program 2012, Strategy: Response to Climate Change, 2012.
- 4) G. A. (Gerard) van den Berg, J. (Jos) Frijns & J. J. G. (Gertjan) Zwolsman: Implementation of climate adaptation and mitigation strategies for drinking water production in The Netherlands, 2009.
- 5) 気象庁：地球温暖化予測情報 第8巻 IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B を用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, 2013.
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局：気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメント, pp. 2-6, 2008.
- 7) 北見市:北見市水道水の断水に関する原因技術調査委員会報告書, 2007.
http://www.city.kitami.lg.jp/docs/2013062500065/files/dan_suihokoku.pdf
- 8) 山陽小野田市：平成 22 年 7 月豪雨による厚狭川水系断水事故報告, 2010.
http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/tanto_usya/2010/dl/01n.pdf
- 9) 村山市豪雨災害対策本部：平成 25 年 7 月 18 日からの大雨による断水対応, 2013.
http://www.city.murayama.lg.jp/kurashi/anzen_anshin/saigai/kakonosaijajouhou.html
- 10) 山形県:村山広域水道受水団体断水対策マニュアル策定ガイドライン, 2014.
https://www.pref.yamagata.jp/ou/kankyoenergy/020071/06/murayamakouiki_dansuitaisaku.pdf
- 11) 厚生労働省健康局：新水道ビジョン, p. 13, 2013.
- 12) 財団法人 水道技術研究センター：持続可能な水道サービスのための浄水技術に関する研究 (Aqua10 共同研究), pp. 49-169, 2009.
- 13) 東京都水道局：気候変動が水道事業に与える影響, pp9-13, 2008.
<http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/press/h21/>
- 14) US EPA : Adaptive Response Framework for Drinking Water and Wastewater Utilities, 2014.
<http://water/epa.gov/infrastructure/watersecurity/climate/load/epa817f12009.pdf>
- 15) 公益財団法人 水道技術研究センター：安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究 (e-Water II), p. Ⅲ-61 2008.
- 16) 社団法人 日本水道協会：水道事業ガイドライン, 2005.
- 17) 渡辺・矢部・小池・森本・小熊・荒巻・滝沢：業務指標を用いた気候変動に対する小規模水道事業体の脆弱性評価：地球環境シンポジウム講演集 Vol. 19, pp. 77-83, 2011.
- 18) 社団法人 日本水道協会：平成 22 年度水道統計, 2010.
- 19) 全国簡易水道協議会：平成 22 年度全国簡易水道統計, 2010.
- 20) 国土交通省：国土数値情報, 2013.
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>

(2014. 5. 23 受付)

ASSESSMENT OF ADAPTATION CAPACITY TO CLIMATE CHANGE USING MANAGEMENT INDICATORS FOR WATER UTILITIES

Hidegori OYAMA, Yoshihiko KAWAMOTO, Makoto KOIKE, Tatsuo MORIMOTO,
Kumiko OGUMA, Toshiya ARAMAKI, Satoshi TAKIZAWA

Climate change may affect the quality and the quantity of water supply systems; however, the likelihood of climate change impacts varies among water utilities. Hence, this research aims to develop the Combined Performance Indicators (CPIs) that integrate the likelihood of climate change impacts and the capacity of water utilities to mitigate such impacts. The CPIs were developed for each process of water supply; namely, intake, treatment and distribution processes. The calculated CPI values were grouped in terms of the service population and the regions of the water utilities, and were plotted on the map of Japan. It was found that the adaptation capacity of water utilities varied depending on their sizes and geographical locations. The adaptation capacity of small-scale water utilities in particular were found to be significantly diversified and some of them are extremely vulnerable to climate change. Furthermore, comprehensive assessment of water utilities' adaptation capacity to climate change was carried out using the management indicators for water utilities that include two additional indicators for finance and pipe age. It was demonstrated that the proposed management indicators for water utilities can be used to develop an adaptation plan for each water utility.