

## 論文の内容の要旨

論文題目 持続可能な開発目標における安全に管理された水供給に必要な投資額の推定と影響因子の評価

氏 名 松原 康一

2015年に国連総会で決議された持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals, SDGs）では、水と衛生が独立の目標（Goal 6）として設けられ、過去のミレニアム開発目標と比較して水と衛生の課題の重要性が強調された。さらに、「安全に管理された水供給（サービス）（Safely Managed Water Services）」というアクセス・水質・手に入れやすさ（低廉さ）の面で、より質の高い水供給が求められている。2015年時点で安全に管理された水供給へのアクセスが得られる人口の割合は79%と推定されており、21億人が安全に管理された水供給へのアクセスが得られていない。多くの開発途上国では水供給整備のための資金不足が報告されており、水供給のターゲットである Target 6.1（以下、SDG 6.1）を達成するための大きな課題である。このため本研究では、SDG Target 6.1を達成するために必要な投資額はどの程度であり、達成のための費用を下げする方法は何か、という研究課題に取り組む。SDG 6.1を達成するための投資額について、既往の研究では多くの不確実性が挙げられていることから検証が必用であり、各国における水供給の一人あたり投資額に影響を与える要因は明らかになっていない。SDG 6.1を達成するための費用を下げする方法について、家庭での水処理（Household Water Treatment, HWT）は技術的進歩と価格の低下により開発途上国で急速に普及に進んでおり、安全に管理された水供給へのアクセスへを確保するための水供給整備方法としての可能性がある。

以上の背景より、本研究の目的は、SDG 6.1 全ての人に安全で手に入れやすいな飲料水へのアクセスを達成するために必要な投資額と費用に影響する要因を明らかにし、達成のための費用を下げの方法を示すために、1) 経済開発と政府開発援助が各国の基礎的な水供給のアクセス改善におよぼす効果をもとに SDG 6.1 の達成に必用な投資額を明らかにし、2) 水供給の一人あたり投資額に影響する要因と SDG 6.1 達成に必要な投資額への影響を明らかにし、3) 安全な水供給が実現されていない都市において、家庭での水処理による安全な水供給へのアクセスの貢献割合を示し、家庭での水処理を活用し社会全体の費用を下げ水供給整備方法を示すことである。

第3章では、公開されている社会経済指標のデータベースから経済発展と基礎的な水供給へのアクセスを比較し、ODA投資額実績をもとに SDG 6.1 の達成に必要な投資額を推定した。第4章では、開発途上国の資金として重要であり、費用と水供給の裨益人口

の情報が入手可能な日本の ODA プロジェクトの分析から、水供給整備費用に影響する水資源・都市農村区分などの一人あたり投資額に影響する要因を明らかにした。また、国ごとの費用のばらつきを踏まえた一般化線形混合モデルによって要因の裨益人口あたり費用への影響を定量化した。第 5 章では、改善された水源が普及しているが安全な水供給がない地域の事例として、ベトナム国ハノイ市における HWT の普及状況と水質試験結果をもとに HWT による安全な水供給のアクセス改善への貢献を評価し、上水道と HWT による安全に管理された水供給整備のための費用を比較した。本研究で得られた結論は以下のとおりである。

1. 国際機関データベースより抽出したデータを用いた解析により、国ごとの基礎的な水供給へのアクセス率は、一人あたり GDP および HDI と強い正の相関があることを示した。また、基礎的な水供給へのアクセス率と人口密度および水ストレス指数は正の相関がみられた。
2. 2000 年から 2015 年までにおける水供給の ODA 投資額と基礎的な水供給へのアクセス増加率は強い相関があり、ODA がアクセスの改善に強い影響をおよぼしていることが示された。また、低中所得国において、ODA による基礎的な水供給へのアクセス改善一人あたり投資額は 365 USD (95%信頼区間で 148–931 USD) と推定された。
3. GDP 成長率は基礎的な水供給へのアクセスの改善率との関連が弱く、ODA 投資額割合の大きい国では同程度の経済成長の国と比較して顕著なアクセスの改善が得られていた。このことから、経済成長のみでなく ODA を含めた外部資金の確保が重要であることが示唆された。
4. 投資額に対する改善人口が ODA の効率と同程度であると仮定した場合、2030 年までにすべての人に基礎的な水供給サービスを提供するために必要な施設整備費用は 487 億 USD/年 (202–1,270 億 USD, 95%信頼区間) と推定され、既往の知見による安全な水供給サービスの整備に必要な投資額 (376 億 USD/年) と同程度の値を示した。ただし推定値のばらつきが大きく、一人あたり投資額の更なる検証が必用である。
5. 日本の ODA による水供給プロジェクト (n=202, 69 カ国) を分析し、特にパイプ給水のプロジェクト (n=113, 47 カ国) について裨益人口当たり費用を目的変数とし、国ごとのばらつきをランダム効果として一般化線形混合モデルを確立した。説明変数としての無償有償区別、裨益人口、水資源、都市農村区分の効果は、有償プロジェクトは無償プロジェクトに対して 2.69 倍 (1.96–3.69 倍)、水源が表流水であった場合地下水である場合の 2.26 倍 (1.45–2.52 倍)、対象地域が都市部であった場合農村部の 0.66 倍 (0.52–0.82 倍) となり、裨益人口 10,000 人増加ごとにプロジェクト費用が 1.8% (1.1–2.1%, 95%信頼区間) 減少すると推定された。
6. 上記において確立した一般化線形混合モデルの各説明変数の固定効果を水供給プロジェクトの費用への影響因子と考え、SDG 6.1 達成までの費用予測への影響を 4 つのシナリオを設定して検討した。この結果、現在の ODA 実績よりも小規模かつ農村部で表流水源が多くなると仮定した場合には、現在の ODA 実績と比較して中央値で 1.44 倍、期待値で 2.28 倍 (0.93–2.60, 95%信頼区間) 倍の費用が必要となると予測された。

7. ハノイ市の既往の水質調査およびアンケート調査 (n=239 世帯, うち水質調査は 71 世帯) の結果の解析より, HWT を考慮しない場合の安全に管理された水供給へのアクセス率は都市部が最も高く (60%), 次いで農村部 (52%) となり, 最も低いのは郊外部 (15%) であった. また, HWT を考慮すると都市・郊外・農村でそれぞれ 13%, 20%, 8%改善し, 最も改善の効果が高いのは郊外部 (20%) であった. 郊外部でのアクセス率が低い原因は, パイプ給水の適合率が低い一方で直接パイプ給水を利用する世帯が多いことである. 対象地域の 5 コミュニティの 33-84%の家庭は, 主要な飲料水源に HWT 処理水を利用していた. また, 最も普及している HWT は都市・郊外部が RO (20-36%) であり, 農村部では SF (22%) であった.
8. 水質調査結果より, ヒ素および *E. coli* について安全に管理された水供給のアクセス率への改善効果が認められる HWT は RO および SF のみである. RO については, 既往の知見から継続的な利用をした場合の課題はあるものの, 本研究ではすべての導入世帯 (100%) で改善を見込むことができた. 一方 SF は, 多くの世帯で処理水が WHO 水質ガイドライン値を満たしておらず, 改善効果は導入世帯の 32%と推定された.
9. 上水道整備と HWT による整備でそれぞれすべての人が 2030 年までに安全に管理された水供給を得られるために必要な施設投資額を推定した結果, 都市・郊外・農村すべての地域で上水道の費用 (211-825 USD/capita) が, HWT による整備費用 (56-186 USD/capita) を上回った. 一方, ライフサイクルコスト (LCC) による年間一人あたり費用では, 都市部において「安全でない水源を直接飲用している」または「安全でない HWT を使用している」世帯のみ HWT を整備すると仮定したケースを除き, HWT による年間費用 (9.4-34.3 USD/capita/year) が上水道による年間費用 (11.0-21.2 USD/capita/year) を上回った.

本研究の成果として, まず, SDG 6.1における基礎的な水供給に必要な投資額を実際の ODA 投資額を用いて評価し, 既往の研究から独立した検証事例を示した. データの入手可能性から「基礎的な水供給」へのアクセス改善を目標としたこと, 対象国の網羅性について限定はあるものの, ODA 投資額を用いた実績からの客観的な一人当たり投資額を示した. また, 途上国への過去の投資額が大きい一方で研究例の少ない日本の水供給 ODA 事例を分析し, 実際の水供給プロジェクトの費用によるばらつきの程度や, ばらつきの原因となるようなプロジェクトの要因を示した. プロジェクトの費用は大きなばらつきを示すことから, データの特性と誤差の分布を考慮して統計モデルを選択し, 一般化線形混合モデル (GLMM) が要因の影響の大きさと信頼区間を求めるために適していることを示した. さらに, HWT の役割を安全に管理された水供給の方法としてとらえ直し, 具体的な地域のアンケート調査・水質データを用いて安全な水供給への貢献の程度を評価し, 社会全体の費用を下げる方法として提案した. HWT は水道普及の遅れなどの制約条件下においても, 安全に管理された水供給を確保するための過渡的な方法として位置付けることができることを示し, 水供給施設への資金が不足する中で安全な水供給を普及させる方法を新しい視点から提案した.