

(41) 人口減少下で段階的整備が進む地域における 下水道接続率の評価

杉本 泰亮^{1*}・細井 由彦²

¹日本工営株式会社 中央研究所 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)

²鳥取大学大学院社会基盤工学専攻社会経営工学講座 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4)

* E-mail: a6433@n-koei.co.jp

中小規模の自治体の下水道経営を安定化するためには、下水道接続率の向上が重要な課題の一つである。本研究では、人口減少下で整備が段階的に進む地域における下水道接続状況を評価する指標を提案し検討を行った。全国を対象とした接続状況について、実質的に3年以内に接続する人口が80%を超えている事業体は、全体の約2割程度であった。下水道接続阻害要因の抽出やアンケート調査による水洗化促進対策の効果を分析した。生活保護者・高齢者を優遇する助成金対策は、下水道接続率の向上に統計的有意性が確認された。さらに共分散構造分析を用いて水洗化促進対策の実施に係る効果や、対策の選択構造を明らかにした。下水道接続率が伸び悩んでいる事業体ほど、広報・奨励活動を積極的に実施していることが定量的に明らかになった。

Key Words : aging society, depopulation, sewerage, questionnaire survey, structural equation models

1. まえがき

近年、人口減少を背景とする下水道経営の悪化が懸念されている。中小市町村の下水道経営を安定化するためには、下水道接続率の向上が重要な課題の一つであると言われている。下水道接続率(下水道処理区域内の人口に対する下水道に接続している人口の比)の伸び悩みは、自治体にとって、当初計画していた下水道利用料金収入が得られず、下水道財政の圧迫につながるためである。下水道法第10条の規定では公共下水道が整備された場合、下水道が供用された区域内にある家庭・事業場等は、排水設備を設置し、下水道へ接続することが義務づけられている。下水道経営の安定化のみならず、法令遵守の上でも、下水道接続率を向上させることが必要である。

行政規模別の下水道接続率を図-1に示した。人口5千から1万人未満の行政規模の平均値は72.5%と全国平均値91.7%と比較して約2割低い。国交省の調査²⁾によると、下水道接続の阻害要因は工事費用が高額なことによる「経済的困難」、「家屋の老朽化」、「浄化槽が稼働」、「空家・長期不在など」、「借地・借家関係」が挙げられている。中小市町村における下水道接続率が低い理由について、下水道が整備されて経過年数が短いことのほ

か、人口減少・高齢化がこれらの地域で先行しており、上記の阻害要因が他の地域と比べて大きいためであると考えられる。

こうした中、自治体では「水洗化工事資金に関する助成制度」、「水洗化の快適性、環境面からの必要性などのPR活動」等、下水道接続率を向上させるための施策(以下 水洗化促進対策)を実施している。しかし、各自治体が漠然と水洗化促進対策を施行しているのが現状であり、地域の実情に応じた効果・効率的な水洗化促進対策を実施するための評価はなされていない。

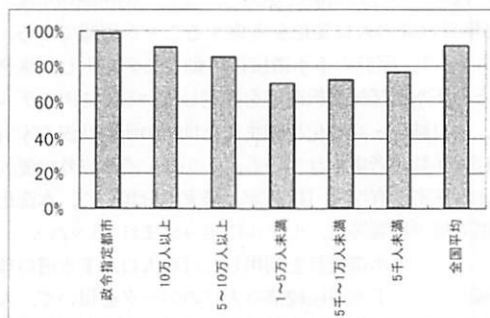


図-1 行政規模別の下水道接続率 (平成17年末) ¹⁾

本研究では下水道接続率の向上を目的として、全国の自治体を対象に、下水道接続率に関する阻害要因および水洗化促進対策の影響を定量的に評価する。全国的な統計データを扱う場合、経年的な下水道接続人口が示されているが、これは段階的に整備が進む下水道処理区域内人口の増加と居住人口の減少の影響が混ざった結果となっており、住民の下水道への接続意思を明確につかむことは難しい。そこで研究方法として、最初に下水道接続率に関する評価指標を構築し全国の実績値を基に指標の妥当性について検討する。次に構築した評価指標を用いて、下水道接続に関する要因分析を行う。さらに共分散構造分析を用いて、水洗化促進対策の実態を構造化する。

2. 下水道接続率に関する評価指標の提案

(1) 評価指標の必要性

下水道の整備後、下水道処理区域内の住民は3年以内に接続をすることが法的に義務づけられている。実情は、必ずしも3年の間に100%の下水道接続率とはなっていない。整備後の接続状況を調査するにしても、毎年少しずつ下水道処理区域内人口が増えていく場合には、整備後の経過年数が異なる住民が混在しているために、ある時点での下水道接続率が何年後の状況を示しているかが明確でない。今後、人口減少下で下水道整備を進める中では、下水道処理区域内人口にも新規で接続した人口増加と下水道利用者の減少の双方の効果を加味して検討できる指標が必要となる。

この課題に対して、土木研究所³⁾は45の都市を対象に、下水道を整備した区域ごとの1年当たりの人口および下水道に接続した人口をアンケート調査により収集し、地域ごとに供用開始年度から5年目までの下水道接続率を平均化することで、下水道接続状況を評価している。この方法は、正確な下水道接続率が算出可能である一方、下水道処理区域ごとの下水道接続済み人口のデータは、アンケート調査の回収率に依存するため、十分なデータ量が確保できない可能性がある。また、供用開始年度から5年目以降の人口変化を考慮することが困難である。細井ら⁴⁾は、家計の下水道接続行動をモデル化し、世帯ごとの下水道接続選択確率を推定している。このモデルは、人口減少・高齢化を踏まえた世帯の所得状況や家計の存続年数が考慮されている。しかし、それ以外の要因、例えば住宅所有関係（持ち家、借家の分類）や、水洗化促進対策の影響等は、モデルに組み込まれていない。

そこで、下水道統計を利用した行政人口、下水道処理区域内人口、下水道接続済み人口のデータを用いて、人口減少下における整備後の経過年数が異なっている人口

が混在している場合の住民の接続意思の高さを示す指標を提案して検討を行うものとする。

(2) 下水道接続に関するモデル

図-2に本研究における整備人口と変数の定義を示す。図-2の左側に示すように、 $i-1$ 年度に整備された地区が i 年度の期首から接続を始めるとし、これを i 地区と表す。 i 年度における i 地区の人口を x_0 と表す。したがって $i-1$ 年度末、すなわち i 年度の期首の整備人口（下水道処理区域内人口） p^{dev}_{i-1} は $i-2$ 年度末の整備人口 p^{dev}_{i-2} に x_0 を加えたものとなる。

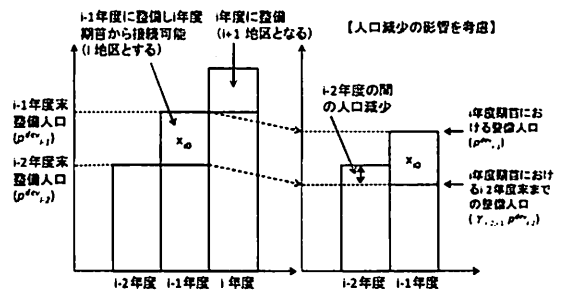


図-2 下水道接続に関する変数の定義

ここで、毎年の下水道への接続者数は、下水道処理区域内における未接続者の中の一定の割合で増加するものとする。最終的な下水道接続率を a 、下水道処理区域内人口を x_0 とすると、最終的な下水道接続済み人口は、 ax_0 で表される。したがって下水道接続済み人口 x の変化は次式で表すことができる。

$$\frac{dx}{dt} = k(ax_0 - x) \quad (1)$$

ここで k は $1/[\text{時間}]$ の次元を持つ定数で、下水道接続の速さを表す指標（接続速度パラメタ）と考えることができる。この値（ k 値）を当該地域の住民の下水道接続行動に関する指標とする。式(1)を、 $t=0$ において $x=0$ の条件で解くと次式を得る。

$$x = ax_0(1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

下水道の整備が始まって $i-1$ 年度末に整備が終わり、 i 年度目の期首から新たに下水道処理区域に加わる地区（ i 地区と表示する）の、 i 年度の期首人口を x_0 とする。この地区の s 年度末における下水道接続済み人口 X_{is} は次式となる。

$$X_{is} = ax_{i0} \{1 - e^{-k(s-i+1)}\} \quad (3)$$

ここで a は、人口に対する最終的な下水道接続率（接続限界パラメタ）と考えることができる。

s 年度末の総下水道接続済み人口 X_s は、その年度までに整備された全地域の接続人口の合計であるから次のようになる。

$$X_s = \sum_{i=1}^s X_{is} = \sum_{i=1}^s ax_{i0} \{1 - e^{-k(s-i+1)}\} \quad (4)$$

現在下水道整備を進めている多くの中小規模の自治体においては人口減少が進んでいる。下水道処理区域内において年々人口が減少することにより、下水道接続対象者も減少していく。そこで、人口変化の影響を考慮するために、 i 地区の i 年度末人口に対する s 年度末人口の比率 γ_{is} をつかって式(3)、(4)を次式のように修正する。

$$X_{is} = \gamma_{is} ax_{i0} \{1 - e^{-k(s-i+1)}\} \quad (5)$$

$$X_s = \sum_{i=1}^s X_{is} = \sum_{i=1}^s \gamma_{is} ax_{i0} \{1 - e^{-k(s-i+1)}\} \quad (6)$$

比率 γ_{is} を具体的に計算する方法を考える。下水道統計は、事業体ごとに住民基本台帳による毎年の行政区内人口、下水道処理区域内人口、水洗便所設置済人口が整理されている。そこで、行政区内人口 p_j^a 、下水道処理区域内人口 p_j^d 、水洗便所設置済人口 p_j の時系列データを用いる。添え字 j は年度とする。毎年の人口変動を観測した行政区内人口を利用して、下水道の利用が可能になった年度 i の人口に対する年度 s の人口から γ_{is} を求める。すなわち行政区内全体の人口の変化率を下水道整備地域の人口の変化率にも適用することにする。

$$\gamma_{is} = p_s^{all} / p_i^{all} \quad (7)$$

i 年度の期首から新たに下水道処理区域内に入る人口（ i 地区の人口）は、 $i-1$ 年度末の下水道処理区域内人口から $i-2$ 年度末の下水道処理区域内人口を引いたものである。ただし、図-2の右側に示すように $i-2$ 年度末までの下水道処理区域内人口は $i-1$ 年度の人口変化の影響を受けている。したがって x_{i0} は次式で表される。

$$x_{i0} = p_{i-1}^{dev} - p_{i-2}^{dev} \gamma_{i-2,i-1} \quad (8)$$

以上より得られた x_{i0} 、 γ_{is} を用いて、式(6)より得られると、データとして得られている水洗便所設置済人口の各年度の値の誤差の自乗和が最小となる k および a を決定する。

$$\min_{a,k} \left\{ \sum_s (X_s - p_s)^2 \right\} \quad (9)$$

3. 全国の下水道接続率の検討

(1) 提案した手法の検証

提案した手法の妥当性を検討するため事例分析を行う。接続限界パラメタ a と、接続速度パラメタ k を実測データをもとに推定する場合、式(9)を満足する最適値の組み合わせは多くあるため、どちらか一方を固定する。ここでは、最終的な下水道接続率は100%に向かうと仮定し $a=1$ として k 値を推定した。

鳥取県のA市を事例に、1970年から2005年までの毎年の下水道処理区域内人口と下水道接続済み人口を下水道統計により整理して k 値を計算した結果、 $k=0.254$ /年となった。得られた k 値を基に、下水道接続済み人口を推定し、実際の下水道接続済み人口のデータと併せてプロットしたものを図-3に示す。推定値と実際の下水道接続済み人口との相関係数は0.994であり、A市においては k 値を評価指標とすることで下水道接続率の変化をうまく表現することができた。

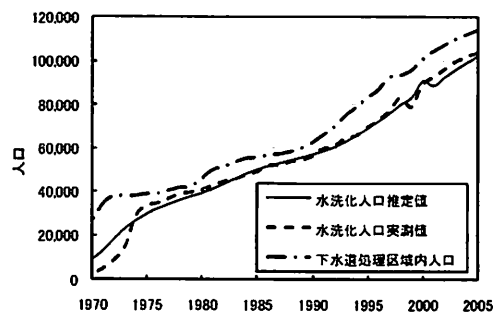


図-3 A市の推定結果 ($a=1$ に固定、 $k=0.254$ /年)

(2) 全国の接続状況

前節で述べた方法を全国の事例を対象として検討する。最初に、1990年から2000年の間に供用開始となった全国の市町村の2003年までの毎年の下水道処理区域内人口と下水道接続済み人口を下水道統計により整理した。2003年までとした理由について、市町村合併が行われると新しい市町村で情報が発表されるため、本格的な市町村合併が進む前のデータを利用するためである。次に、データの経年変化に非現実的な変動がなかった842事業体のデータを収集・整理し、それぞれについて、 $a=1$ と固定し k 値を推定した。

図-4に推定した k 値による下水道接続済み人口の予測値と実測値の相関係数の累積分布を示す。

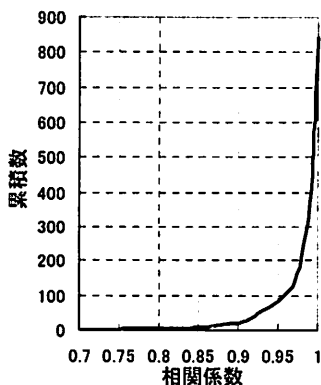


図4 推定値と実測値の相関係数の累積分布

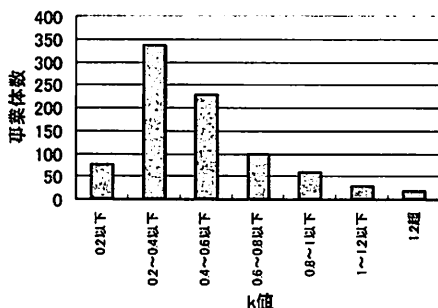


図5 k値の分布

約700事業で相関係数が0.95を超えており、全国を対象とした場合においても、k値を評価指標として実測値との高い整合性が確認できた。

図-5は得られたk値の分布を示している。最も多かったのはk値が0.2～0.4/年に属するもので、337事業体で全体の40%。次に多かったのがk値が0.4～0.6/年に属するもので、227事業体で全体の27%あった。

前章で構築したモデルを用いて、下水道整備後の接続状況を評価する。図-6は、種々のk値による供用後経過年数と下水道接続率との関係を示したものである。

図-5より事業体が最も多いk値が0.3/年の場合は、3年後に59.3%、5年後に77.7%、10年後に95.0%であり、kが0.5/年の場合はそれぞれ、77.7%、91.8%、99.3%である。3年後の下水道接続率はk=0.1/年で25.9%、0.2/年で45.1%、0.4/年で69.9%、0.6/年で83.5%、0.8/年で90.9%、1.0/年で95.0%である。

下水道接続状況を調査する場合、下水道統計にある下水道接続率では、整備後の経過年数が異なる住民が混在するため、整備後の下水道接続率の経年変化を評価することができなくなった。ここで前章で提案した評価指標k値を用いることで、全国的にほとんどの事業体が、実質的に整備後3年以内に80%の下水道接続率すら達成できないことが示唆された。

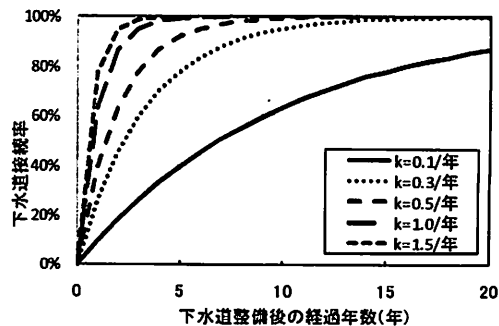


図-6 各種k値における経過年数と接続率の関係

4. 下水道接続に関する要因分析

(1) 地域特性との関係

前章で検討したk値を基に、下水道接続率に影響を及ぼすと考えられる地域の特性を調べる。下水道に接続を行わない理由として、工事費の自己負担が高い、高齢者の世帯で後継者がいない等の理由があげられている。そこで、統計資料から得られる世帯の状況を表す指標として、「一人当たり課税所得額」、「65歳以上の人口割合」、「65歳以上の高齢単身世帯の割合」、接続率に直接関係するものとして「一人当たり新設住宅着工数」、住宅の状況を表す指標として「空き家比率」、家が借家のため下水道に接続できないといった要因を考慮した「借家比率」の全6指標を取り上げて、重回帰分析をおこなう。

対象事業体は、前章で収集した842事業体のうち、6つの指標全てが整理されている188事業体とした。各指標の参照した年度を表-1に整理した。

表-1 地域特性に関する指標の抽出

指標	参照年	出典
・一人当たり課税所得額 ・一人当たり新設住宅着工数	2000年	5)
・65歳以上の人口割合 ・65歳以上の高齢単身世帯の割合	2000年	6)
・空き家比率（空家数/住宅総数） ・借家比率（借家数/住宅総数）	1998年	7)

対象年度はほとんどの事業体で供用が開始している2000年頃の指標値を採用した。多重共線性を確認するために、指標間で単相関係数を求めた。表-2より、相関係数が0.9以上のものはなく、多重共線性の影響はないものと考えられる。

重回帰分析における説明変数の選定方法は、全ての指標を説明変数として扱う場合（強制投入法）と、重要でない指標を除外し最良の回帰モデルを探索する方法（ス

表2 各指標間の単相関係数

	一人当たり課税所得額	一人当たり新設住宅着工戸数	65歳以上人口割合	65歳以上の高齢単身世帯の割合	空き家比率	借家比率
一人当たり課税所得額	1	0.44	-0.72	-0.01	-0.12	0.11
一人当たり新設住宅着工戸数		1	-0.50	0.21	-0.11	0.24
65歳以上人口割合			1	0.12	0.34	-0.13
65歳以上の高齢単身世帯の割合				1	0.49	0.69
空き家比率					1	0.36
借家比率						1

テップワイズ法)の2種類を用いた。

全188事業を分析対象としたCase1-1とCase1-2, 人口規模による影響の違いを検討するために人口3万人未満の事業体(53事業体)を対象としたCase2-1とCase2-2, 人口3万人以上の事業体(135事業体)を対象としたCase3-1とCase3-2の計6ケースについて分析した結果を表-3に示す。

モデルの精度について, 各ケースとも自由度修正済み R^2 乗係数が0.226~0.365であった。一般に R^2 乗係数が0.5以上であれば精度の良い回帰モデルとされていることから, 下水道接続状況(k値)をうまく説明するような回帰式が得ることができなかった。しかし, 各指標の標準化係数をみると, 「65歳以上の高齢者割合」や「65歳以上の高齢単身世帯の割合」, 「空き家比率」が負の相関を示し, 一方で, 「一人当たり課税所得額」が正の相関であることから, 既往の知見と一致した傾向が確認できた。人口規模別の比較では, 人口3万人未満の事業体では, 有意な変数として「65歳以上の高齢者割合」のみ

表3 重回帰分析の結果

Case	変数選択の方法	自由度修正済み R^2	標準化係数					
			一人当たり課税所得	一人当たり新設住宅着工戸数	65歳以上人口割合	65歳以上の高齢単身世帯の割合	空き家比率	
全事業体(188事業体)								
1-1	強制投入法	0.268	0.320	-0.007	-0.122	-0.262	-0.104	0.301
1-2	ステップワイズ法 ($F_{0.020}$ $F_{0.025}$)	0.272	0.319	-	-0.119	-0.264	-0.103	0.302
人口3万人未満の事業体(53事業体)								
2-1	強制投入法	0.365	0.147	-0.030	-0.375	-0.310	-0.080	0.326
2-2	ステップワイズ法 ($F_{0.020}$ $F_{0.025}$)	0.348	-	-	-0.600	-	-	-
人口3万人以上の事業体(135事業体)								
3-1	強制投入法	0.226	0.341	0.013	-0.064	-0.252	-0.104	0.308
3-2	ステップワイズ法 ($F_{0.020}$ $F_{0.025}$)	0.235	0.382	-	-	-0.272	-0.115	0.348

注: -は, 説明変数として選択されなかった意味

が判定されたのに対し, 人口3万人以上の事業体では「一人当たり課税所得額」, 「65歳以上の高齢単身世帯の割合」, 「空き家比率」, 「借家比率」が選ばれた。小規模な事業体では高齢者の影響で下水道への接続が進まないのに対し, 中大規模では, 家計の所得がプラスの影響を与えるなど下水道接続を促進する要因が確認できた。「借家比率」が予想に反してプラスの影響を示した理由について, 人口規模の大きい都市部においては, アパートやマンション等の管理者による迅速な下水道への接続を行っているものと考えられる。

(2) 水洗化促進対策に関するアンケート調査

下水道接続率は地域の特性だけではなく, その他の要因が影響しているものと考えられる。下水道法第十一条では, 「市町村は, くみ取便所を水洗便所に改造しようとする者に対し, 必要な資金の融通又はそのあっせん, その改造に関し, 利害関係を有する者との間に紛争が生じた場合における和解の仲介その他の援助に努めるものとする」とある。そこで, 事業体による水洗化促進対策を調査した。事業体の水洗化促進対策に関する活用状況は, 既往の統計書では確認できないことから, 全国の実業体を対象とした, 水洗化促進対策の活用実績アンケート調査を行った。

調査内容は, 「水洗化促進手引き⁹⁾」を参考に, 接続工事費の奨励活動として, 「1. 改造費助成制度」, および, 生活保護世帯・高齢者・身体障害者・その他福祉関係制度において, 助成額等に優遇措置を設けている場合の「2. 改造費助成制度(生活保護者・高齢者)」, 「3. 無利子の貸付・あっせん制度」, 「4. 下水道預貯金」, 広報・勧奨活動として「5. 戸別訪問」, 「6. 施設の見学会」, 「7. 相談所の設置」, 「8. 普及相談員」の8つの水洗化促進対策を取り上げて, 1990年から2000年時における活用実績状況を調査した。

調査対象は前節で検討した188事業体とし, 郵送調査法によるアンケート回収率は, 79% (149事業体)であった。水洗化促進対策ごとの活用実績別事業体数の割合を図-7に示す。最も活用実績が多い対策は, 「3. 無利子の貸付・あっせん制度」の59.7%であり, 一方最も実績が少ない対策は「4. 下水道預貯金」で2.7%であった。

(3) 水洗化促進対策の効果

アンケート調査の回答が得られた149事業体の水洗化促進対策活用実績とk値の関係を分析する。分析手法は, 水洗化促進対策の実績別に, k値の平均値, 標準偏差, および, 活用実績によるk値の平均値に差があるか検定するため, 分散が等しくないと仮定したT検定による有意確率(両側)を求めた。その結果を表-4に示す。

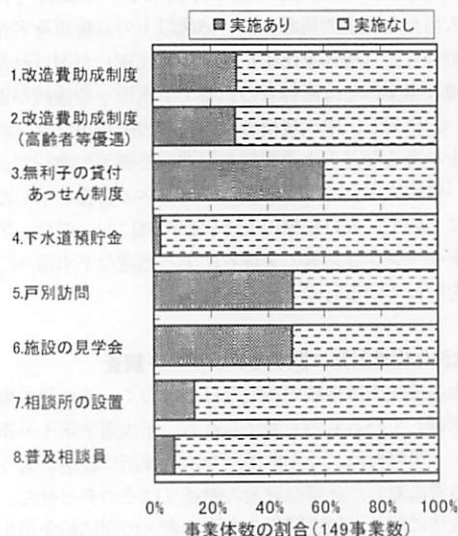


図7 水洗化促進対策の活用実績

表4 水洗化促進対策とk値の関係

施策名	条件	k値の平均値	k値の標準偏差	平均差 (実測値-予測値)	有意水準
1.改造費助成制度	有	0.48	0.22	0.01	0.771
	無	0.47	0.26		
2.改造費助成制度 (高齢者等優遇)	有	0.54	0.28	0.10	0.043*
	無	0.44	0.23		
3.無利子の貸付 あつせん制度	有	0.48	0.26	0.03	0.529
	無	0.46	0.22		
4.下水道預貯金	有	0.38	0.06	-0.10	0.050*
	無	0.48	0.25		
5.戸別訪問	有	0.44	0.25	-0.07	0.106
	無	0.51	0.24		
6.施設の見学会	有	0.43	0.26	-0.09	0.026*
	無	0.52	0.23		
7.相談所の設置	有	0.43	0.22	-0.06	0.310
	無	0.48	0.25		
8.普及相談員	有	0.34	0.12	-0.14	0.080
	無	0.48	0.25		
全体		0.47	0.25		

注: 5%水準で有意(両側)

「2.改造資金助成制度(生活保護者・高齢者)」について、有意確率が5%未満であることから、k値の平均値に差異が認められ(差異がないことを棄却できない)、かつ活用実績のあるグループの方がいないグループと比較してk値の平均値が高い結果が得られたことから、下水道接続率の向上に影響があるといえる。

活用実績が極端に少ない「4.下水道預貯金」は除外するとして「6.施設の見学会」はグループ間の平均値に差異がある一方で、水洗化促進対策の活用実績がなかった

グループのほうがk値の平均値が高く、既往の知見と異なる結果となった。この理由として、下水道接続が伸び悩んでいる事業体ほど、下水道事業に対する住民理解を促進させる対策を講じていると考えられる。

(4) 共分散構造分析による水洗化促進対策の実態分析

水洗化促進対策の実施に影響する要因を構造的に明らかにする。水洗化促進対策の種類および規模は、表-1で示した指標の中から「借家比率」を除外した5つの指標により説明される「事業体の特性」と呼ぶ潜在変数の影響を受けると仮定し、モデル化には共分散構造モデル (Structural Equation Models) の一つであるMIMICモデル (Multiple indicator Multiple Cause Model) を採用した。

共分散構造分析を適用する上で、2変数の順序変数をモデルの内生変数(従属変数)として扱うことは難しいとされている⁹⁾。前節で調査した各水洗化促進対策のデータをモデルの内生変数として扱うために、「奨励関連の対策数」、「広報・勧奨関連の対策数」の指標に再整理した。具体的な整理方法を表-5に示す。2つの評価指標は5水準の順序変数であることから、間隔尺度として扱うことに対して大きな問題はないとされる。

表-5 各指標間の設定

指標	方法
奨励関連の対策数	事業体ごとの水洗化促進対策 No1 から No4 までの活用実績有りの総数
広報・勧奨関連の対策数	事業体ごとの水洗化促進対策 No5 から No8 までの活用実績有りの総数

分析ソフトはSPSS社のAmos5.0とし、結果を図-8に示す。パス係数は標準化係数で表し、モデルの適合度指標は、GFI=0.984、AGFI=0.908、RMSEA=0.068であった。朝野らがまとめた¹⁰⁾適合度指標の判別によると、GFI、AGFIは0.9以上、RMSEAは、0.1未満であれば精度が良いモデルとされていることから、十分な適合性が得られた。

構成概念である「事業体の特性」に与える要因について、下水道接続の速さを表す「k値」のパス係数が0.44と最も高く、次いで「一人当たり課税所得額」のパス係数が0.42となっている。高齢化に関連する「65歳以上の人口割合」のパス係数0.27や「空き家比率」のパス係数-0.10と「地域特性」に与える影響は「k値」と比較して小さくなる。この結果から水洗化促進対策は、下水道接続状況(k値)をみた事後対策として実施されている可能性が高いことが示唆される。

次に、事業体はどういった水洗化促進対策を選定しているか考察する。「奨励関連の対策数」へのパス係数が

Evaluation of Utilization of Gradually Developed Sewerage System in Depopulating Societies

Yasuaki SUGIMOTO¹, and Yoshihiko HOSOI²

¹Nippon Koei Co.,LTD , Research and Development Center

²Dept. of Management of Social Systems and Civil Engineering, Tottori University

In order to improve managements of sewerage services, it is one of the most important tasks to have local residents connect to sewerage systems quickly. When the percentage of population connected to sewerage is low, this can be attributed to factors such as low-income, aging, and other area characteristics.

This study aims to analysis effects and causative factors related to the socioeconomic conditions of sewerage systems. The structural equation model was applied to data based on statistics and questionnaire results from local socialites. It was able to be evaluated quantitatively that financial assistance from local governments could contribute to the improvement of the rate of residents connected to sewerage.