

地域住民の評価を反映した河川環境の分析

— 小樽市内の河川整備事業を対象として —

渡久地 朝 央

山 本 充

1. はじめに

河川の水資源利用は古くから人々の生活に根づくもので様々な形で利用されており、同時に洪水などの水害を防ぐために河川整備事業においては利水および治水が重要視されてきた。近年では、経済的・文化的発展とともに自然環境との共生や憩いの場としてのレクリエーション機能、景観といった多面的機能も重視されるようになった。

これらの多面的機能を含んだ河川整備は「多自然型川づくり」と呼ばれ、自然生態系の復元を目的とした多自然型工法（近自然工法）として広く推進されている[1]。具体的には、治水上の安全性を確保しつつ、自然環境および生態系を保護するという自然環境に配慮した河川工事であり、多様な河川環境の保全または復元を重視している。

この多自然型工法による河川環境には生態系や自然環境のみならず、亀山[2]、山本[3]によると、環境機能として心理的満足やエコロジー、レクリエーション機能、景観といった多面的機能が含まれている。特にレクリエーション機能や景観は地域住民のアメニティに影響を与える項目で、緑地や広場、遊歩道といった河川を利用した花火大会や灯籠流しなど地域の文化に根付いたものも含まれる。

そのため、近年の河川整備事業では治水や利水といった河川整備事業の基盤となる機能以外にも地域住民や自然環境を考慮した多面的機能が重要視される

ようになっており、具体的な整備を行う上で必要となる機能の取捨選択が必要となっている。そのために整備対象となる河川の多面的機能の評価が重要となる。

この地域住民の意見を反映した多面的機能を評価するには、その機能同士の繋がりや地域住民の選好を計測する必要がある。そこで、本論文では河川整備事業を行う上で必要となる多面的機能を評価するために使用データ〔注1〕を利用して構造方程式モデリング (Structural Equation Modeling) を適用する。具体的にはSEMのモデルの1つであるMIMIC型モデル (Multiple Indicator Multiple Cause) を適用し、地域住民が望む河川環境を考察する。

2. 対象となる河川の概要

本論文では図1の地図に記載される小樽市内を流れる勝納川を対象としている〔4〕。この勝納川は北海道小樽市を流れる主要な河川であり、明治20年頃から勝納川を水源とする水道施設計画が立てられるなど、小樽市の利水を担っている河川である。

当時の小樽市は石炭の運搬港として賑いをみせ、この頃には勝納川周辺はすでに住宅が密集していた。そのため、洪水などの災害が起こると多くの被害を出すことに繋がり、昭和37年の台風では被害戸数2396戸と大きな被害となった。

これを受けて護岸工事が行われ、安全性を重視した河川整備が行われた。結果として、治水、利水に適った河川整備ではあったが鮭の遡上が無くなるなど、自然との共生が失われてしまった。

そこで近年では、河川の多面的機能への需要の高まりを受けた多自然型工法による河川整備による整備計画行われてきたのである。

2000年に行われた当該河川の意識調査では、地域住民に対してアンケート調査を行っている〔5〕。アンケート調査は38項目からなる5件法 (5段階評価) によって、多面的機能の要因となる項目を詳細に分析している。

このアンケート調査内容を使用した山本〔7〕の分析結果から、2000年の地域住民は勝納川に対して「親しみやすい」という評価、「活動しやすい」場とい

う評価が最も強い影響を示していることが明らかにされている。さらに、これらの評価が互いに影響を及ぼしていることが指摘されており、散歩などの活動のしやすさを通して河川に対する親しみやすさがフィードバックされるという双方向的な関係も明示されている。

このように、勝納川は古くから地域住民の生活に身近な存在であり、水害を引き起こした過去はあるが、近年の河川の多面的機能を意識した河川整備事業によって鮭の遡上が見られるようになるなどの改善が行われている河川である。勝納川の水源を利用した日本酒等の商品開発が行われるなど、地域企業の材料や地域住民の生活用水に使用される、身近でシンボリックな対象として認



図1 勝納川領域の地図と河川敷の様子 出所：北海道道庁[4]

識されており、山本[7]の既存研究からも指摘されるように地域住民から親しみを持たれている河川であることが認識できる。

3. MIMICモデルによる河川環境の分析

構造方程式モデルはデータに基づいた観測変数と直接的に観測されない潜在変数を定義することで両者の関係を定量的に明らかにするものである。具体的には因子分析による観測変数間の相関を回帰分析や重回帰分析によって補足するという回帰分析の共分散構造モデルで総合的に観測変数と潜在変数の関係を見るものである。本論文では対象となる河川において地域住民がどのような河川環境を望んでいるのかという理想とする河川環境を把握することで、住民評価と河川整備との因果関係を探るために構造方程式モデルの1つであるMIMICモデルを用いる。MIMICモデルは潜在変数が複数の観測変数によって規定され、この潜在変数が複数の別の観測変数に影響を与える状態を数理モデルによって定義することで潜在変数と観測変数の関係を見るもので、以下の2式からなる。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} &= \eta \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix} \\ Y &= \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad \Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{pmatrix} \quad \varepsilon = \begin{pmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix} \\ Y &= \eta \Lambda + \varepsilon \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \eta &= (\gamma_1 \cdots \gamma_n) \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} + \zeta \\ X &= \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_3 \end{pmatrix} \quad \Gamma = \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \vdots \\ \gamma_n \end{pmatrix} \\ \eta &= \Gamma' X + \zeta \end{aligned} \tag{2}$$

(1)式は測定方程式で、Yは潜在変数から影響を受ける観測変数の列ベクトルを表わし、 Λ は潜在変数から観測変数に対する因果係数の列ベクトル、 ε は観測変数Yの誤差項を表わしている。次に(2)式は構造方程式となり、Xは潜在変数に影響を与える観測変数の列ベクトル、 Γ' は観測変数から潜在変数に対する因果係数の行ベクトル、 ζ は潜在変数の誤差項を表わしている。

本研究は前述した2000年に行われた住民意識調査[5]の継続にあたる[注1]。しかし、本研究で使用するデータは回答者の負担軽減を目的に評価項目が38項目であった調査[5]から、表1のように既存研究[7]から特に重要とされる6つの観測変数に区分している。また、理想とする河川環境への質問は回答者負担の軽減から加工した河川景観の写真を用いて行った。具体的には、将来的に必要と考えられる多面的機能を写真加工によって河川景観に付加し、多面的機能の必要性の有無を回答者が選択した結果を分析に利用した。付加した多面的機能は、表2に示した「植生の有無についての評価」、「並木の有無についての評

表1 アンケート項目の区分

I. 環境的要素	II. 施設の要素	III. 感覚的要素
①生物系要素	③利便性要素(利便的要素)	④親近感の要素
②審美的要素		
		⑥景観的要素(眺め)

表2 多面的機能についての質問項目

I 環境的要素—①植生の有無についての評価
②並木の有無についての評価
II 施設の要素—③柵・遊歩道の有無についての評価
III 感覚的要素—④川幅の広狭についての評価

価」, 「川幅の広狭についての評価」, 「柵や遊歩道の有無についての評価」の4つである。

これらのデータを観測変数として用いて先述のMIMICモデルから直接観測されない潜在変数との関係を探る。

まず, 直接観測されない潜在変数の数を確認するために, 理想とする河川環境について質問した4つの観測変数を利用して以下の式のような因子分析をおこなった。

$$y_i = a_i \eta_i + e_i \quad i=1\sim 4 \quad (3)$$

(3)式では, y_i が理想とする河川環境として必要と考えられる4つの多面的機能の回答による観測変数を表わし, η_i が潜在変数を, a_i が因子負荷量を, e_i が誤差項を表わしている。ここで扱う観測変数は個別の多面的機能であることから因子抽出は, 観測変数間に相関が無いと仮定して一般的なバリマックス回転を行った。使用したデータのサンプル数は403である。

因子分析の結果, 表3のように第一因子は「川幅が広狭についての評価」で固有値1.930, 寄与率は48.25%, 因子負荷量は0.908であった。第二因子は「柵・遊歩道の有無についての評価」で固有値は0.951, 寄与率23.77%, 因子負荷量0.851となった。

表3の分析結果の因子負荷量から, 第1因子は「植生の有無についての評価」, 「川幅の広狭についての評価」, 「並木の有無についての評価」が, 第2因子は「柵・遊歩道の有無についての評価」, 「植生の有無についての評価」, 「川幅の

表3 将来の河川環境を説明する観測変数の因子分析結果

	固有値	寄与率	累積寄与率	因子負荷量	第1因子	第2因子
因子No.1	1.930	48.25%	48.25%	柵・遊歩道の有無について	0.023	0.851
因子No.2	0.951	23.77%	72.01%	植生の有無について	0.788	-0.328
				川幅の広狭について	0.908	0.344
				並木の有無について	-0.695	-0.033

広狭についての評価」が影響を及ぼしている。しかし、「植生の有無についての評価」と「川幅の広狭についての評価」は第1因子と第2因子の両方に影響を与えており、明確に因果関係を分けることはできないが、「並木の有無についての評価」や「柵・遊歩道の有無について評価」のように第1因子と第2因子が異なる因子負荷量にあることから潜在変数は1つ以上あることが示唆される。そこで、第1因子の「川幅の広狭について評価」と「植生の有無について評価」、「並木の有無についての評価」は植物や水量が関係している項目として「自然性の評価」という潜在変数とした。次に第2因子の「柵・遊歩道の有無についての評価」と「植生の有無について評価」、「川幅の広狭についての評価」は河川に対する安全性や水辺のアクティビティ機能と関係している項目として「親水性の評価」という潜在変数とした。

このように因子分析から示唆された因果関係を基に分析対象のパス図を作成していく。

図2が作成されたパス図で、図右辺に先ほどの因果関係から潜在変数と観測変数の関係性を付加した。また、図左辺は表1で仮定した勝納川の評価に関する6つの観測変数を示しており、「自然についての評価」、「親しみについての

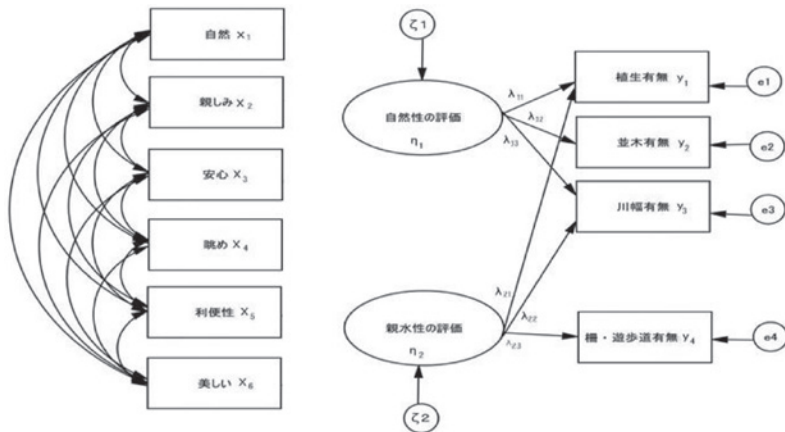


図2 MIMICモデルを用いた理想とする河川環境のパス図

評価」, 「安心についての評価」, 「眺めについての評価」, 「利便性についての評価」, 「美しさについての評価」である。

これら6つの観測変数は表1の通りに審美的要素や親近感の要素などの感覚的要素を含んでいることから互いに影響をし合っていると考えた。これは後述する分析結果で相関係数を出すことで確認する。これら6つの観測変数が図2の右辺で勝納川に対する「自然性の評価」と「親水性の評価」という2つの潜在変数を通して将来の勝納川に必要と考えられる多面的機能に関する質問である表2の4つの観測変数に影響を与えているという流れである。

このように仮定したパス図を持ってMIMICモデルの分析を先に述べたように行っていく。具体的には因子分析の結果を踏まえて観測変数が潜在変数をどう説明しているかということ推計するが、図2左辺の6つの観測変数と2つの潜在変数の関係性を知るために先の因子分析を図2左辺の観測変数でも行う。ただし、この後に行うMIMICモデルとは因果関係の方向性が異なるため、あくまでも関係性を知るための目安として行った。

$$x_i = a_i \eta_i + e_{xi} \quad i=1\sim 6 \quad (4)$$

(4)式では、 x_i が現状の河川環境の評価である6つ観測変数を表わし、 η_i が潜在変数を、 a_i が因子負荷量を、 e_{xi} が x_i の誤差項を表わしており、サンプル数は403である。先ほどの因子分析では、河川における個別の多面的機能が観測変数であったことから観測変数間に相関が無いとしたが、図2左辺にみられる「美しさについての評価」, 「親しみについての評価」, 「安心感についての評価」というような抽象的な評価項目を含んだ観測変数を扱うことから、観測変数間に相関があると仮定して斜交解で求める斜交プロマックス回転を適用した。また、先に行った因子分析の結果を踏まえて2因子抽出で行い、使用するサンプル数は同様に403である。その結果、第1因子は「親しみについての評価」, 「安心感についての評価」, 「利便性についての評価」であり、第2因子は「自然の豊かさについての評価」, 「美しさについての評価」という因果関係が表4のように示された。この因果関係を参考にパス図左辺を図3のように決定した。

表4 現状の河川環境を説明する観測変数の因子分析結果

因子No.	固有値	寄与率	累積寄与率	因子負荷量	因子No. 1	因子No. 2
因子No. 1	3.346	55.77%	55.77%	親しみ	0.653	0.189
因子No. 2	0.101	1.68%	57.45%	安心感	0.573	0.180
				利便性	0.515	0.220
				眺め	0.354	0.493
				自然の豊かさ	0.181	0.608
				美しさ	0.161	0.629

先に示した(1), (2)式を図3のパス図に沿って分析を行う。分析にはAmosを用い、潜在変数からの分散を1, 誤差項からの係数を1と置いた。使用したデータのサンプル数は403である。

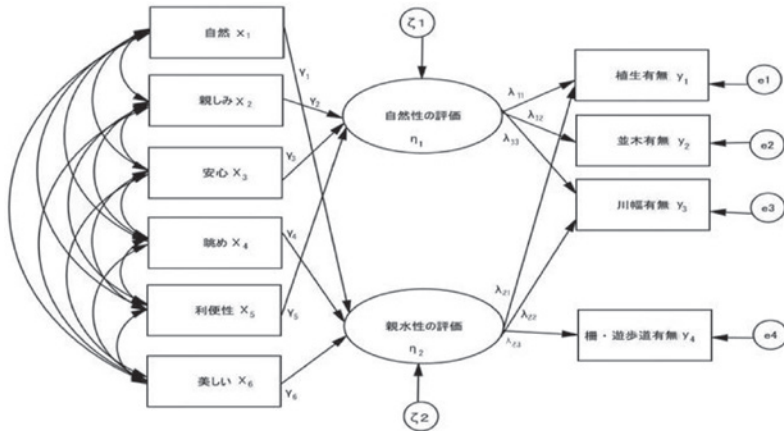


図3 MIMICモデルを用いた理想とする河川環境のパス図

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 &= \gamma_2 x_2 + \gamma_3 x_3 + \gamma_5 x_5 + \zeta_1 \\ \eta_2 &= \gamma_1 x_1 + \gamma_4 x_4 + \gamma_6 x_6 + \zeta_2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned}
 y_1 &= \lambda_{11} \eta_1 + e_1 \\
 y_1 &= \lambda_{21} \eta_2 + e_1 \\
 y_2 &= \lambda_{12} \eta_1 + e_3 \\
 y_3 &= \lambda_{13} \eta_1 + e_3 \\
 y_3 &= \lambda_{22} \eta_2 + e_3 \\
 y_4 &= \lambda_{23} \eta_2 + e_4
 \end{aligned} \right\} (6)$$

また、これまでの検証結果から、(5)、(6)式には2つの潜在変数 η があり、因果係数の列ベクトル λ は6つ、因果係数の行ベクトル γ は6つ、潜在変数の誤差項 ζ は2つ、観測変数 y の誤差項 ε は4つとなる。

結果は図4のようになった。図4は図3にAmosでの分析結果である観測変数や潜在変数間の関係を標準化偏回帰係数によって表わしたパス図である。この結果をみると図4左辺の観測変数間の相関係数は正の値だが、潜在変数への影響を表わす標準偏回帰係数は負の値を取る観測変数が見られる。そのため、多重共線性の検証も含めて図4のパス図をより良いモデルにするために観測変数と潜在変数の関係をみていく。

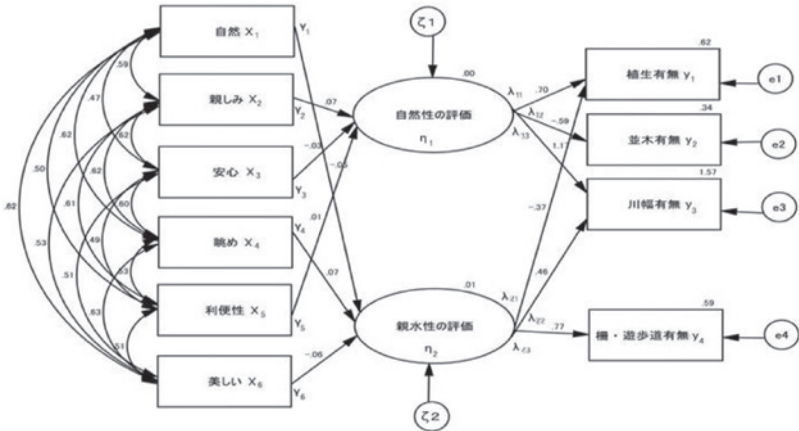


図4 MIMICモデルによる推計結果を示したパス図

表5 観測変数間の相関係数と VIF

相関係数

			推定値	VIF
利便性についての評価	<--- --->	安心についての評価	0.491	1.313
親しみについての評価	<--- --->	安心についての評価	0.621	1.627
眺めについての評価	<--- --->	安心についての評価	0.597	1.545
自然についての評価	<--- --->	安心についての評価	0.473	1.291
美しさについての評価	<--- --->	安心についての評価	0.514	1.365
親しみについての評価	<--- --->	利便性についての評価	0.614	1.594
眺めについての評価	<--- --->	利便性についての評価	0.532	1.389
自然についての評価	<--- --->	利便性についての評価	0.497	1.338
美しさについての評価	<--- --->	利便性についての評価	0.514	1.358
眺めについての評価	<--- --->	親しみについての評価	0.625	1.639
自然についての評価	<--- --->	親しみについての評価	0.592	1.535
美しさについての評価	<--- --->	親しみについての評価	0.531	1.399
自然についての評価	<--- --->	眺めについての評価	0.615	1.607
美しさについての評価	<--- --->	眺めについての評価	0.627	1.653
美しさについての評価	<--- --->	自然についての評価	0.620	1.620

まず、パス図の左辺の観測変数間の相関係数と、潜在変数への標準偏回帰係数の値を詳しくみるためにVIF (Variance Inflation Factor) と併せて表5に観測変数間の相関係数とともに表わした。

表5からは各観測変数の相関係数は平均して0.56と、観測変数間に一定の影響が相互にあることが示唆される。

そして、正負の値の違いについては多重共線性の他に抑制変数(調整変数)が観測変数に含まれる可能性が指摘できる。多重共線性及び抑制変数(調整変数)の可能性を検証するため、簡易ではあるが豊田[8]を参考に被説明変数を一定として観測変数間で線形回帰を行った。

結果として、検証のためのVIFは表5のようにすべてが2以下の結果で、多

重共線性を表わす10よりも低い値となった。また、観測変数を用いて線形回帰をおこなうと、「自然についての評価」と「眺めについての評価」は他の観測変数に対して常に負の値を取っていることがわかった。

そのため、「自然についての評価」と「眺めについての評価」は他の観測変数に対して抑制変数として働いていることが示唆される。つまり、この場合においては観測変数間の相関が正の値で潜在変数への影響が負の値であっても多重共線性の問題は無いと推測される [注2]。

このような検証を踏まえて、モデル適合度を高めるよう図4の潜在変数と観測変数の関係性を改善して再びAmosで分析を行った。これは観測変数間の相関係数が互いに影響を及ぼしている点を考慮するためで、具体的には図4左辺の観測変数から潜在変数への影響を単独の潜在変数だけに向かうのではなく1つの観測変数から2つの潜在変数に向かう可能性も考え、その組合せのなかでAIC (Akaike Information Criterion) の値が最も低い値になるように考慮して分析を行った。

結果は、(6)式の因果係数の行ベクトル γ が8つ ($m = 1 \sim 8$) に変更されて図5のパス図のようになった。また、パス図の標準偏回帰係数については改め

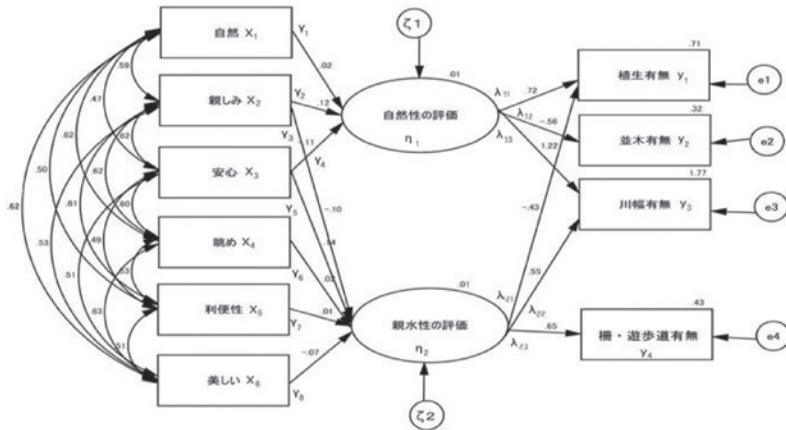


図5 MIMIC modelによる勝納川の推計結果

て表6に示した。

図5の左辺からみていくと、潜在変数「自然性の評価」については「親しみについての評価」(0.121)がもっとも影響を及ぼしている。もう1つの潜在変数「親水性の評価」については「安心についての評価」(0.141)がもっとも影響を及ぼしている。

この結果については、2000年に行われた先述の山本[7]でも「親しみやすい」が勝納川の評価に大きく影響与えていることが指摘されており、10年後の本研究でも勝納川の評価に影響を与えていたことが明らかとなった[注3]。

次に、将来に必要と考えられる多面的機能については図5右辺から、潜在変数である「自然性の評価」から「川幅の広狭についての評価」(1.221)が求められており、広い川幅が望まれている。次いで「植生の有無についての評価」(0.719)で自然が求められ、「並木の有無についての評価」(-0.563)は負の値であることからどちらかといえば、並木は無い方が望まれている。

表6 MIMIC モデルによる分析結果

				推定値	確率水準
γ_1 ($X_1 \rightarrow \eta_1$)	自然性の評価	<---	自然についての評価	0.019	***
γ_2 ($X_2 \rightarrow \eta_1$)	自然性の評価	<---	親しみについての評価	0.121	***
γ_3 ($X_3 \rightarrow \eta_1$)	自然性の評価	<---	安心についての評価	-0.111	***
γ_4 ($X_3 \rightarrow \eta_2$)	親水性の評価	<---	安心についての評価	0.141	***
γ_5 ($X_2 \rightarrow \eta_2$)	親水性の評価	<---	親しみについての評価	-0.100	***
γ_6 ($X_6 \rightarrow \eta_2$)	親水性の評価	<---	美しさについての評価	-0.074	***
γ_7 ($X_5 \rightarrow \eta_2$)	親水性の評価	<---	利便性についての評価	0.007	***
γ_8 ($X_4 \rightarrow \eta_2$)	親水性の評価	<---	眺めについての評価	0.017	***
λ_{11} ($\eta_1 \rightarrow y_1$)	植生の有無について	<---	自然性の評価	0.719	***
λ_{12} ($\eta_1 \rightarrow y_2$)	並木の有無について	<---	自然性の評価	-0.563	***
λ_{13} ($\eta_1 \rightarrow y_3$)	川幅の有無について	<---	自然性の評価	1.221	***
λ_{21} ($\eta_2 \rightarrow y_1$)	植生の有無について	<---	親水性の評価	-0.427	***
λ_{22} ($\eta_2 \rightarrow y_2$)	川幅の有無について	<---	親水性の評価	0.545	***
λ_{23} ($\eta_2 \rightarrow y_3$)	柵・遊歩道の有無について	<---	親水性の評価	0.653	***

*** $P < 0.001$

また、もう1つの潜在変数である「親水性の評価」からは、「柵・遊歩道の有無についての評価」(0.653)がもっとも影響を受けており、次いで「川幅の広狭についての評価」(0.545)、「植生の有無についての評価」(-0.427)となっている。

「自然性の評価」と「親水性の評価」という2つの潜在変数から共通して「川幅の広狭についての評価」という多面的機能が必要と考えられていることがわかる。両方の潜在変数ともに正の値であることから川幅が広いことが望まれおり、次いで柵や遊歩道の整備を望んでいることが示唆される。植生による自然の豊かさについては、自然性の評価と親水性の評価で間逆の結果となった。

以上から、地域住民は勝納川について、親しみや安心という感情的な評価によって勝納川を評価している。そして、将来の河川環境に必要と考えている多面的機能としては、親しみや安心という評価をより高めるような機能として広い川幅や柵・遊歩道が整備された河川環境を望んでいることが示唆される。

次にこの分析モデルの適合度を表7からみていくと、NFI (Normed Fit Index) は0.992と独立モデルに非常に近いモデルで分析が行えている。また、GFI (Goodness of Fit Index) の値は0.992と1.00に近い結果で、RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) の値は0.010と低い値であった。

また、図5のパス図及びモデルは図3のパス図と比べてAIC (Akaike Information Criterion) はより小さい値となった。そのため、分析モデルは妥当であろうと考える。

表7 モデル適合度

	NFI	GFI	RMSEA	AIC
モデル	0.992	0.992	0.010	
飽和モデル	1.000	1.000		
独立モデル	0.000	0.449	0.344	
モデル				
図3パス図によるモデル				95.584
図5パス図によるモデル				94.687

ま と め

本論文では現在の河川整備事業に求められる多面的機能について地域住民が現状をどう評価しており、今後何を望んでいるのかを明らかにするために構造方程式モデルの1つであるMIMICモデルによる分析をおこなった。

結果、現在の河川環境について地域住民は親しみや安心について評価が高く、分析対象である勝納川が身近で愛着のある河川として認識されている。

そして、将来に必要と考えられる河川環境については、広い川幅を望み、かつ、柵・遊歩道の整備も行って欲しいと考えていることがわかった。

河川工事での川幅の改善については洪水などの治水上の理由と見た目を良くするための理由があるが、本分析では「親しみについての評価」と「安心についての評価」が抑制変数の影響があるために、地域住民の選択が治水上の機能を当然のものとして内包して回答しているかどうかまではわからない。

しかしながら、近年の河川整備事業で求められる自然環境や生態系に考慮した様々な整備事業の中から、地域住民の望む多面的機能を取捨選択することは重要になってきている。

そのため、多様な地域住民の意見からもっとも必要とされる多面的機能を明確にすることは、具体的な河川事業を計画する上で必要であろう。

河川整備事業の根幹となる治水・利水機能と併せて地域住民のニーズに合った、より高度な河川環境整備を円滑におこなうためにも、本論文のような地域住民の意見を抽出する分析が重要になってくると考えられる。

【注 釈】

- [注1] 本論文は平成22年度河川整備基金助成事業採択の1つである「小樽市勝納川（二級河川）における河川整備10年の経過とその河川生態系・地域経済への効果及び住民意識の変遷に関する研究」代表申請者：八木宏樹（助成番号22-1215-001）によって取得されたデータを基に分析を行った。
- [注2] 抑制変数（調整変数）についてはより詳細な検定が望ましいが、結果は論文が冗長になる点や本論文の主旨から離れる点から本論文では簡易な線形回帰によって確認するに留まった。
- [注3] 山本[7]と同様に因子分析をおこなっても第1因子は「親しみについての評価」となった。

【参考文献】

1. 多自然型川づくりレビュー委員会「多自然川づくりへの展開」国土交通省水管理・国土保全局, 2006.
2. 亀山章『地域開発と水環境』信山社, 1990.
3. 山本充「河川の公益的機能評価に関する考察(1)」商学討究, 50(1) pp.131-150, 1990.
4. 北海道庁「勝納川水系河川整備基本方針」, 2001.
5. 小樽商科大学ビジネス創造センターディスカッションペーパーシリーズNo.75『環境保全型河川計画と景観構築に係る計画技術の研究』, 2001.
6. 山本充「河川の公益的機能評価に関する考察(2)」商学討究, 50(2/3) pp.127-137, 2000.
7. 山本充「河川の公益的機能評価に関する考察(3)」商学討究, 50(4) pp.47-69, 2000.
8. 豊田秀樹『共分散構造分析－疑問編－』朝倉書店, 2004.