

研究成果報告書

事業名（補助金名）	基盤的研究開発育成事業（共同研究補助金）
研究開発テーマ名	石炭灰を再利用した水産基盤整備事業における環境負荷評価を考慮した合意形成手法に関する研究
研究代表者名	清田 健【株式会社エコニクス環境事業部／マネージャー】
共同研究者名	長野 章【公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科／教授】 山下和則【(株)エコニクス環境技術研究所／取締役・所長】
外部協力者名	鈴木達雄【(株)アッシュクリート／代表取締役社長】 松田裕一【(現)北海道電力(株)苫東厚真発電所／次長】 【(前)北海道電力(株)総合研究所環境グループ／グループリーダー】

1 研究の概要

1-1 研究検討の目的

海底マウンド事業では、工法として、天然石や普通コンクリートのほか、リサイクル材である石炭灰利用コンクリートブロックでの建設が行われるが、石材より高いと評価されている。一方、北海道は我が国有数の大規模な美しい自然を有している。石材などの天然資源を採掘することで景観や生態系を脅かす問題が指摘されていることから、本事業を実施する場合の合意形成は従来の事業費のみでなく環境に対する影響を考慮する必要があると考える。

このため、本研究では、事業推進に用いるツールの整備を目的とし、関係者の意識について AHP (Analytic Hierarchy Process) と DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) を用いた解析を行い、客観的な判断基準が共通認識されたリサイクル材を循環資源として使用する場合の新たな意志決定手法を提案する。

1-2 研究の進め方

研究は以下のフローに沿って実行した。

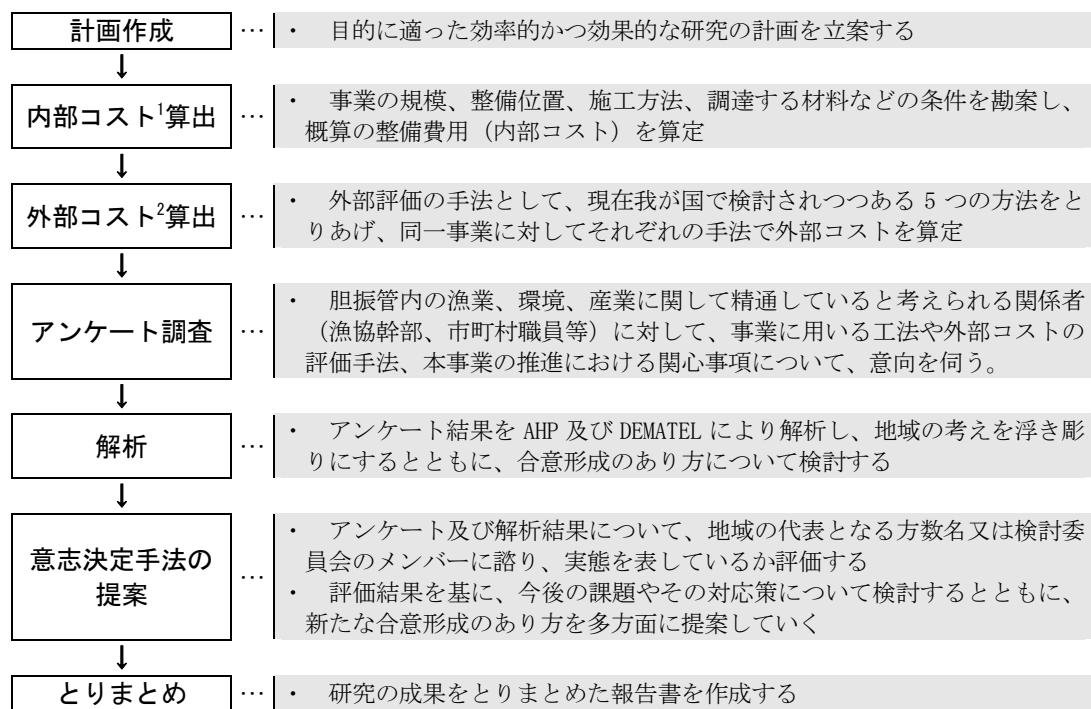


図 1-2-1 研究のフロー

¹ 建設事業の実施に際して事業者自身が負担する費用や材料の購入費や運搬費などの建設工事に直接関連する費用。

² 建設活動によってもたらされる好ましくない影響（不経済）で事業主体が金銭負担せず社会一般がなんらかの形で負担しているもの。環境が有するさまざまな価値を貨幣評価し、自然環境の悪化や自然からのサービスの低下を算出した費用。

1-3 解析手法の解説

(1) AHP 法

1) AHP と施策の順位付け

後継者の確保に限らず、多様な選択肢の中から特定の案を選択する場合、あるいは限られた予算など制約条件のある中で最も効果的に優先度の高い事業等を選択する場合、要する費用と得られる効果に関して意志決定者が判断を下すために得られる情報の特性により、選択するための様々な手法がある。例えば、費用便益分析はともに貨幣価値で評価できる場合に用いる手法であり、複雑かつ不確定な情報に基づき意志決定をする場合は、AHP(Analytic Hierarchy Process)が有効である。

AHP は、複雑な状況下にある問題を最終目標と評価基準(基本的施策)、更に代替案(具体的施策)の階層構造に分け、各代替案の一対比較をしながら、代替案の重み付けを行い、階層全体の重み付けと最終目標に対する各代替案の順位付けを行う方法である。ここでは最終目標を漁業後継者の確保に置き、三つの基本的施策を一対比較し、基本的施策の重み付けを行った。さらに三つの基本的施策を評価基準にして、12 の具体的施策を一対比較して重み付けを行った。それら 2 段階の代替案重み付けを合成して最終目標である漁業後継者確保への 12 の具体策について順位付けを行った。

AHP における各代替案の重みは、代替案の一対比較行列の最大固有値 λ_{\max} とその固有ベクトル \mathbb{W} を求めることである。一対比較行列 A に対し、

を解き、 W を重みベクトルとする。ここで λ_{\max} は A の最大固有値を、 W は対応する固有ベクトルを表す。

次に代替案の総合重みを求める。レベル1は最終目標、レベル2は評価基準、レベル3を代替案とすると、レベル3の要素*i*に関するレベル2の重みはそれぞれ、

W1, W2, Wi

レベル2のレベル1に関する重みを W とすると、レベル3の総合重み X は、

$x = [w_1, w_2, \dots, w_i]$ 式 1-3-2

となる。

これらの結果から各代替案の重みベクトルと各代替案の一対比較における整合度指数 CI が計算される。ここでは、一対比較行列の行の幾何平均を重みとする簡便式を用いた。また、整合度指数 CI は式 1-3 によった。整合度指数は 0.10~0.15 以下のとき一対比較的回答に整合性を持つとされている。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad \dots \dots \dots \text{式 1-3-3}$$

最大固有値 λ_{\max} n は要素数

(2) DEMATEL 法

1) DEMATEL 法による要因の相互関連分析手法

DEMETEL 法は要因間の影響を与える強さである直接影響行列 D^d を作り、その逆行列を計算して、それら影響の間接的影響を含めた総合影響行列 T を作成する(式 1-3-4)。

T : 總合影響行列

D^d ：直接影響行列

D：正規化直接影響行列

I : 单位行列

要因間の影響の向きと強さを表す有向グラフ(図 1-3-1(1))を行列で表した直接影響行列 D^d を作る(図 1-3-1(2))。

次に直接影響行列の行和の最大値で直接影響行列の各要素を除し正規化直接影響行列 D を作る(図 1-3-1(3))。

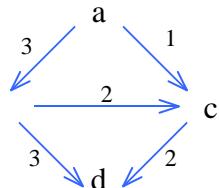
正規化直接影響行列を 2 回掛けることで得られる行列 D^2 の要素は要素どうしの間接効果の強さを示す。この間接効果のすべての合計値と直接影響効果を加えた総合影響行列 T は式 1-3-4 で求めることができる。

この総合影響行列 T を分析することによって、各要素間の相互関連が間接的な波及効果を含めて総合的に評価することができる。

総合影響行列の行和は要因相互関連構造のなかで要因の影響度の強さを表し影響度という。また、列和は要因相互関連構造のなかで要因の被影響度の強さを表し、被影響度という。影響度と被影響度の和はこの総合行列の中のその要因の中心的な役割の度合いを示し中心度と言う。さらに影響度から被影響度を差し引いた数値はこの総合影響行列の中のその要因の原因的な役割の度合いを示し原因度と言う。

DEMATEL 法の分析手順は以下のとおりである。

(1) 有向グラフ
a, b, c, d は要因
矢印は影響の向き
矢印の数字は影響の強さ



(2) 直接影響行列

$$D^d = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & a & b & c & d \\ \hline a & 0 & 3 & 1 & 0 \\ \hline b & 0 & 0 & 2 & 3 \\ \hline c & 0 & 0 & 0 & 2 \\ \hline d & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

行の合計
4
5 最大値
2
0

(3) 正規化直接影響行列
直接影響行列の各要素を、
行の合計の最大値 5 で割った。

$$D = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & a & b & c & d \\ \hline a & 0 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ \hline b & 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ \hline c & 0 & 0 & 0 & 0.4 \\ \hline d & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

(4) 総合影響行列

$$T = D(I - D)^{-1} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & a & b & c & d \\ \hline a & 0 & 0.6 & 0.44 & 0.536 \\ \hline b & 0 & 0 & 0.4 & 0.76 \\ \hline c & 0 & 0 & 0 & 0.4 \\ \hline d & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

(5) 総合影響行列の解釈

aがbに及ぼす直接・間接の影響の合計(総合影響)
 bがaから受けける総合影響
 行和=aが全ての要素(b,c,d)に及ぼす総合影響(影響度)

$$T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & a & b & c & d & \text{行和} & \text{行和+列和} & \text{行和-列和} \\ \hline a & 0 & 0.6 & 0.44 & 0.536 & 1.576 & 1.576 & 1.576 \\ \hline b & 0 & 0 & 0.4 & 0.76 & 1.16 & 1.76 & 0.56 \\ \hline c & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.4 & 1.24 & -0.44 \\ \hline d & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.696 & -1.696 \\ \hline \text{列和} & 0 & 0.6 & 0.84 & 1.696 & - & - & - \\ \hline \end{array}$$

影響度と被影響度の合計=中心度
 影響度と被影響度の差=原因度

列和=aが全ての要素(b,c,d)から受ける総合影響(被影響度)

図 1-3-1 要因の相互関係の DEMATEL 法による分析手順

2 研究の結果

2-1 内部コストの算出

胆振管内において海底マウンドについて、一定規模の整備内容を仮定し、その工法として 1) 天然石材、2) 普通コンクリートブロック、3) 石炭灰利用ブロック及び 4) 水産系副産物入り石炭灰利用ブロックの 4 種類を利用した際の内部コスト（従来の整備費用：材料費・運搬費・建設工事費）の概算額を算定した。

表 2-1-1 工法の特徴と各々の概算内部コスト

	石材（中割石）	普通コンクリート ブロック	アッシュコンクリート ブロック	貝入アッシュコンクリート ブロック
概要	山から切り出した岩を適當な大きさに割ったもの	石や砂を骨材として、石灰やアルミを主成分とするセメントと水で固めたもの	石炭灰にセメントと水を加え振動させて固めた全く無害なもの	アッシュコンクリートに貝殻を混入したもの
材料	天然石 100%	砂利、砂、セメント、水	石炭灰、セメント、水	石炭灰、セメント、貝殻、水
比重 (t/m ³)	2.6	2.3	1.8	1.8
製造方法	山から切り出した岩を割って作ります。	材料をプラントに運び、そこで練り混ぜし、型枠に流し込み、しばらく置いて固め、型を外すと完成です。		
設計条件	石材一つは大きくできないため、多量の石材が必要である。	ブロックであるため、大きさや形状を比較的の自由に決められるため、施工性も良く、投入量は石材よりも少なくて済む。		
全体工事費用*	約 9 億 7 千万円	約 11 億 4 千万円	約 10 億 2 千万円	約 10 億 7 千万円

* 工事費用は、材料費・運搬費・施工費・諸経費を含む概算額（仮想）

2-2 外部コストの算出

現在、水産基盤整備のような、公共事業の実施にあたっては、整備に必要な費用（Cost）と整備によって得られる効果（便益=Benefit）をお金の単位で計算し、その比（B/C）で事業を評価する「費用便益分析」が必須となっている。

これまで建設事業費（費用）とされていたものは、建設事業の実施に際して事業者自身が負担する費用で、これを内部コストという。一方、建設活動によってもたらされる好ましくない影響で事業主体が金銭負担せず、社会一般がなんらかの形で負担しているものを外部コストという。

これまでの建設事業コストとの違いを整理すると次の図の通りである。例えば、人工湧昇流発生工に石材を利用する場合、山林の樹木を伐採し、表土を取り除いて採石するが、失われる森林公益的機能、生態系など山林の持つ機能は、内部コストでは評価されない。このように、事業主体が負担しないコストを外部コストというのである。

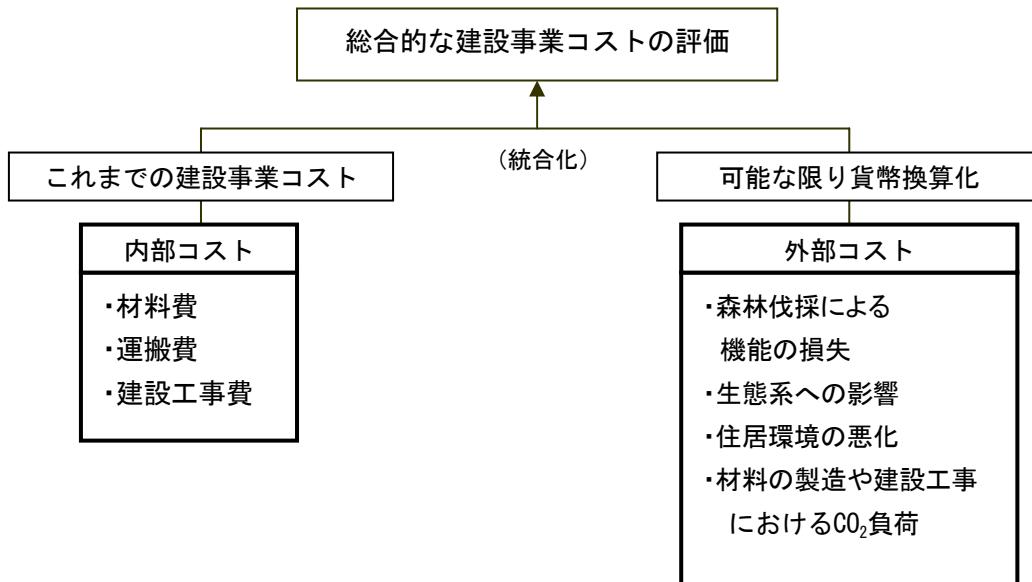


図 2-2-1 内部コストと外部コストを統合したトータルコストで評価

この外部コストを貨幣価値換算する方法がいくつか検討されているが、ここでは、LCCO₂（生涯二酸化炭素放出量）、LIME（日本版被害算定型影響評価手法）、便益移転法、資源生産性の4つの評価手法について検討を行った。

(1) 内部コスト

通常の建設コスト（材料費・運搬費・建設工事費など）のみを評価に用いる。

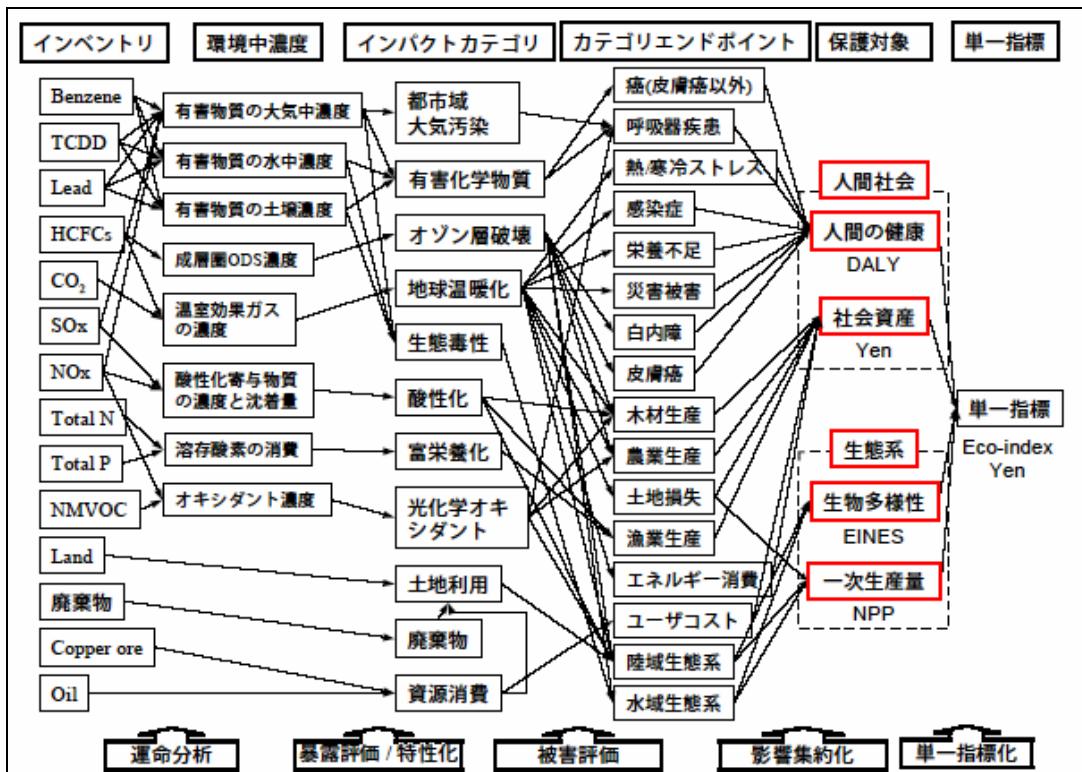
(2) LCCO₂による評価手法

建設事業における二酸化炭素の排出量を計測し、評価に用いる。生涯二酸化炭素放出量とも言い、材料の調達から運搬、必要に応じて部品等の加工・製造、組み立てや設置など、事業の始めから終わり（一生涯）に渡って二酸化炭素の放出量に着目するのが特徴である。

(3) LIMEによる評価手法

単位の異なる複数の環境負荷物質を单一指標に統合化する手法で、日本版被害算定型影響評価手法と呼ばれる。下の図のように環境への負荷の発生（インベントリ）から私たち人間が受けると想定される被害にたどり着くまでの過程を計算式の中に組み込み、最終的にお金の単位でその被害を表す手法である。

具体的には、環境への負荷の発生から「(1) 大気、水などの中の負荷物質の濃度変化」「(2) 人間などが受ける曝露量」「(3) 曝露により人間が受ける被害量」「(4) エンドポイント（最終地点）における被害量を被害様態ごとに評価し、共通するエンドポイントごとにそれぞれの被害量を集約」「(5) 最後にエンドポイント間の重要度を加味させることで環境影響の統合化された指標（お金）で表す」手法である。



身近な例を挙げれば…

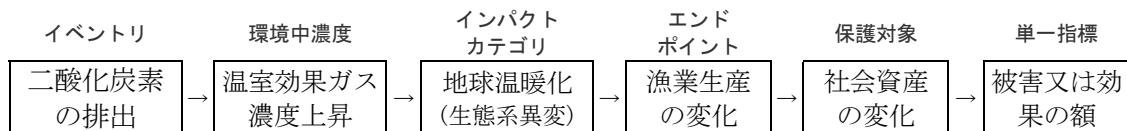


図 2-2-2 LIME (被害算定型影響評価手法) のイメージ

(4) 便益移転法による評価手法

建設事業等によって影響を受ける環境の機能などのお金で表現しにくい事象を、先に行った類似の調査事例で導かれた評価額等を代用することで計測する手法である。具体的には、下表の左にある（先に導かれた評価額）を、右のような事象についての額として代用することで、環境負荷コストを計算する。

実際に行おうとする事業によって引き起こされる影響と先に行った調査事例との間の類似性によって、評価の精度が左右されるという特徴がある。

表 2-2-1 移転する便益の項目とその内容

森林公益的機能	採石場における森林等の伐採に伴う公益的機能喪失コスト
生物系環境コスト	森林が失われることに伴い生態系が受けける環境コスト
居住環境悪化コスト	採石場や製造プラントによる振動騒音等の増加や景観の悪化に伴う環境価値の低下
改良用原材料使用に伴うコスト	セメント、鉄筋、採石等材料製造に伴い発生する環境コスト : CO ₂ 負荷から算出
各種施設機械コスト	アッシュクリート製造工場、採石場等の建設、稼働等に伴う環境コスト

(5) 資源生産性による評価手法

我が国では、循環型社会形成推進基本法に基づき「資源生産性」という概念が設定された。これは、次式のような形で表される。資源生産性とは、国内総生産の額を、投入した天然資源の量で除したもので、天然資源投入量当たりの国内総生産額である。

概念と同時に、数値目標も設定され、将来的には、さらに少ない天然資源等の投入量で効率的にGDPを生み出すことが望まれている。

$$\text{資源生産性} = \text{GDP} (\text{国内総生産}) \div \text{天然資源等の投入量}$$

目標：平成12年度 約28万円/t → 平成22年度 約39万円/t (4割向上)

人工海底山脈の総生産³を15億円として資源生産性を算定し、上記目標値との比較をした。下表のように、アッシュクリートは目標値(約28万円/t)に近い資源生産性となるが、石材を使うと費用対効果は目標値の1/30程度になる。

表2-2-2 資源循環性概念に基づく事業評価の計算結果

	石材（中割石）	普通コンクリートブロック	アッシュクリートブロック	貿入アッシュクリートブロック
〈A〉 事業効果	約15億円	約15億円	約15億円	約15億円
〈B〉 天然資材投入量(t)	約140,000	約52,000	約6,000	約6,000
〈A/B〉 資源生産性(万円/t)	1.07	2.88	25.00	25.00

(6) 外部コストの計算結果

上記の方法により、今回の事業における外部コストを計算した結果は表2-4のとおりである。総じて、便益移転法が最も大きな額となり、次いでLIME、LCCO₂であった。資源生産性は直接的に外部コストを金額として示すことができないため、同一では比較できない。

炭酸ガス排出量を評価基準とするLCCO₂を除く、他の3つの評価法ではいずれも石材を用いた場合の外部コストが他よりも大きい結果となった。

表2-2-3 外部コストの計算結果

外部コストの評価手法	単位	石材（中割石）	普通コンクリートブロック	アッシュクリートブロック	貿入アッシュクリートブロック
LCCO ₂	百万円	5.5	21.5	16.8	16.8
LIME	百万円	44	30	22	22
便益移転	百万円	315	124	38	38
資源生産性	万円/t	1.07	2.88	25.00	25.00

注) LCCO₂は、1t-CO₂を3,000円として貨幣価値化した。

2-3 アンケート調査

上記の費用、効果についてのAHP法、DEMATEL法適用に向けてのアンケート調査を、胆振管内の地方自治体・漁業関係者（各機関名を表2-2-4に示す）を対象に実施した。

³ ここで、「事業の総生産」とは、国全体でいうGDP寄与額に相当するものであり、事業によって期待される効果（水産資源の増大、漁業生産額の増加、水産加工業の発展、運輸業・小売業の売上上昇、漁具・漁船製造業の活性化、その他）の総計と考えている。

アンケートでは、主に次の3点について質問を行った。

- 最初に、各機関5名にプレアンケートを行い DEMATEL 法での解析に用いる地域の環境や産業を代表するキーワードの抽出を行った。
- 上記の各工法及び各評価法についての一対比較（4つの工法の場合は6通りの組合せ）でどちらが望ましいかを伺った。（→ AHPによる解析）
- 工法別に、評価法及び地域を代表するキーワードそれぞれについての相互の影響・被影響の度合いについて伺った。（→ DEMATELによる解析）

表 2-2-4 アンケート対象者

室蘭市	室蘭市 経済部農水産課 室蘭漁業協同組合
登別市	登別市 観光経済部農林水産グループ いぶり中央漁業協同組合*
白老町	白老町 水産港湾課
苫小牧市	苫小牧市 経済部農業水産課 苫小牧漁業協同組合
厚真町	厚真町 経済部商工経済課 鶴川漁業協同組合*
むかわ町	むかわ町 商工水産観光課

* 胆振中央漁協及び鶴川漁協は二つの行政区域にまたがっているため、所在のある市町村と一緒になるように斜線で示している。

2-4 リサイクル材を用いた水産基盤整備事業の意志決定についての解析

上記のアンケート調査によって得られた胆振管内の環境社会システムを構成する要素を抽出し、システムの構造を AHP 法、DEMATEL 法によって分析することによって、リサイクル材を用いた水産基盤整備事業の意志決定についての解析を行った。

(1) AHP 法による解析結果

解析によると、4つの工法のうち、被験者に最も受け入れられたものは貝入りアッシュクリートで、次いでアッシュクリート、石材、普通コンクリートの順であった。評価値は、貝入りアッシュクリートが 0.48 と群を抜いており、次点のアッシュクリートのほぼ 2 倍、最下位の普通コンクリートの約 4 倍であった。

同様に AHP 法による解析によると、5つの評価手法のうち、被験者に最も受け入れられたものは資源生産性で、次いで LIME（被害算定型影響評価手法）、LCC02（生涯二酸化炭素放出量）、便益移転、内部コストのみの順であった。評価値は、資源生産性が 0.38 と他より大きく、次点の LIME のほぼ 2 倍、最下位の内部コストのみの約 3 倍であった。

表 2-4-1 AHP 解析結果（工法・評価手法についての意識）

◇工法について◇

石材（中割石）	普通コンクリート	アッシュクリート	貝入りアッシュクリート
0.15	0.11	0.26	0.48

◇評価手法について◇

内部コストのみ	LCC02	LIME	便益移転	資源生産性
0.11	0.17	0.20	0.13	0.38

(2) DEMATEL 法による解析結果

DEMATEL による解析では、各要素間の影響／被影響の関係を定量化する。しかし、各工法同士では影響関係が無い。したがって、工法別に解析を行った。

1) 各工法と環境要素の相互関係

a) 石材（捨石）工法

石材（捨石）工法と各環境要素の相互関係については、DEMATEL 法のアンケート調査結果から表 2-4-2 の総合影響行列を求め、この行列から表 2-4-3 に示す影響度、被影響度、原因度、中心度を求めた。

表 2-4-2 総合影響行列

	a 石材で整備すること	e 胆振海岸を保全すること	f 廃棄物を削減すること	g 天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	h 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	i リサイクルを推進すること	j 窯業や土石産業の需要創出されること	k 景観が悪化すること	l サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	m 漁業資源（魚種）が多様化すること	n 新たな漁場を創出すること	o 藻場を創出すること
A 石材でマウンドを整備すること	0.378	0.403	0.365	0.443	0.519	0.376	0.442	0.465	0.426	0.412	0.434	0.382
E 胆振海岸を保全すること	0.375	0.283	0.316	0.361	0.419	0.330	0.383	0.364	0.366	0.354	0.367	0.346
F 廃棄物を削減すること	0.394	0.349	0.280	0.390	0.437	0.372	0.383	0.380	0.376	0.372	0.377	0.342
G 天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	0.422	0.374	0.363	0.328	0.465	0.378	0.402	0.404	0.388	0.368	0.376	0.356
H 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	0.491	0.448	0.410	0.477	0.445	0.441	0.469	0.488	0.475	0.456	0.461	0.447
I リサイクルを推進すること	0.387	0.358	0.369	0.394	0.433	0.290	0.390	0.386	0.377	0.362	0.373	0.348
J 窯業や土石産業の需要創出されること	0.443	0.393	0.373	0.422	0.463	0.380	0.341	0.418	0.402	0.384	0.398	0.374
K 景観が悪化すること	0.451	0.395	0.364	0.419	0.477	0.366	0.418	0.338	0.385	0.375	0.384	0.361
L サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	0.408	0.348	0.332	0.365	0.423	0.344	0.382	0.366	0.305	0.363	0.380	0.344
M 漁業資源（魚種）が多様化すること	0.363	0.312	0.297	0.329	0.388	0.306	0.333	0.330	0.335	0.268	0.353	0.320
N 新たな漁場を創出すること	0.413	0.355	0.336	0.367	0.425	0.343	0.374	0.365	0.396	0.384	0.310	0.365
O 藻場を創出すること	0.397	0.357	0.336	0.374	0.445	0.351	0.376	0.372	0.388	0.384	0.392	0.290

i) 要素の中心度と原因度による分析

表 2-4-3 は、各要素の間でどの要素が他の要素にどの程度影響を与えていているか、影響を与えてられているかを見るものである。ある要素が影響を与えている程度（影響度）と与えられている程度（被影響度）を加算したものは、要素間の構図の中で中心的な要素かどうかの評価となり、中心度という。影響度と被影響度の差である原因度は要素間の関係において、構図の中で原因の程度を表すものである。

図 2-4-1 は、要素の中心度と原因度をグラフ化したものである。

中心度、原因度がともに大きい中心的要素は、「A. 石材でマウンドを整備すること」「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」「J. 窯業や土石産業の需要創出されること」「K. 景観が悪化すること」である。

一方、「O. 藻場を創出すること」を除く漁業に関する要素は、原因度がマイナスであり、中心度も小さいことから、他の要素に影響を受ける要素である。

表 2-4-3 分析結果

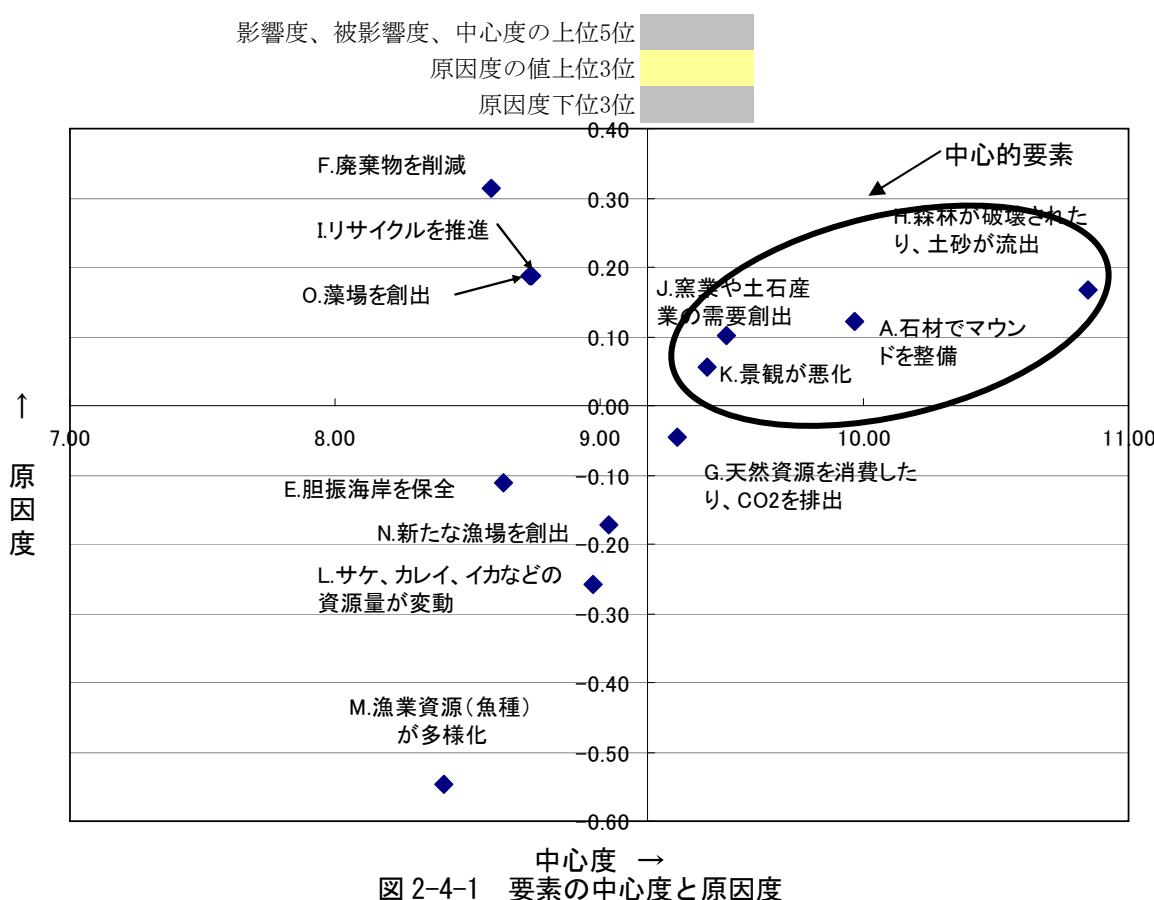
		影響度	被影響度	原因度	中心度	中心度の順位
A	石材でマウンドを整備すること	5.04	4.92	0.12	9.97	2
E	胆振海岸を保全すること	4.26	4.37	-0.11	8.64	10
F	廃棄物を削減すること	4.45	4.14	0.31	8.59	11
G	天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	4.62	4.67	-0.05	9.29	5
H	森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	5.51	5.34	0.17	10.85	1
I	リサイクルを推進すること	4.47	4.28	0.19	8.74	8
J	窯業や土石産業の需要創出されること	4.79	4.69	0.10	9.48	3
K	景観が悪化すること	4.73	4.68	0.06	9.41	4
L	サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	4.36	4.62	-0.26	8.98	7
M	漁業資源（魚種）が多様化すること	3.93	4.48	-0.55	8.41	12
N	新たな漁場を創出すること	4.43	4.61	-0.17	9.04	6
O	藻場を創出すること	4.46	4.27	0.19	8.74	9
	平均値			0.00	9.18	

影響度：その要素が他のすべての要素に与える直接・間接の影響の強さの総和

被影響度：その要素が他のすべての要素から受ける直接・間接の影響の強さの総和

原因度：影響度と被影響度の差

中心度：影響度と被影響度の合計



ii) 総合影響係数からみた要素間の相互関係

要素間の相互関係を相互関連図で表したのが図 2-4-2 である。この相互関連図は総合影響行列（表 2-4-2）の中から総合影響係数の大きい関係を 12 抽出して、要素間を影響する方向の矢印で結んだものである。

図の中央にある要素「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」は各要素への矢印が集中しており、他要素へ最も影響を与える要素であると認識されている。

また、「A. 石材でマウンドを整備すること」は「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」とは相互に影響を与える関係にあり、「K. 景観が悪化すること」に影響を与える。

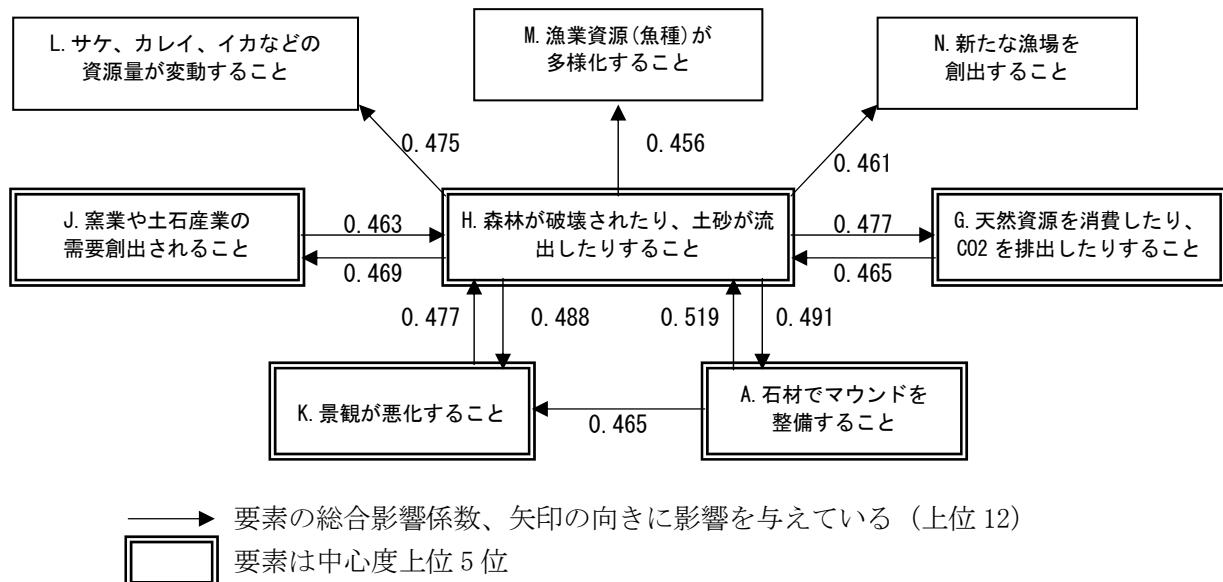
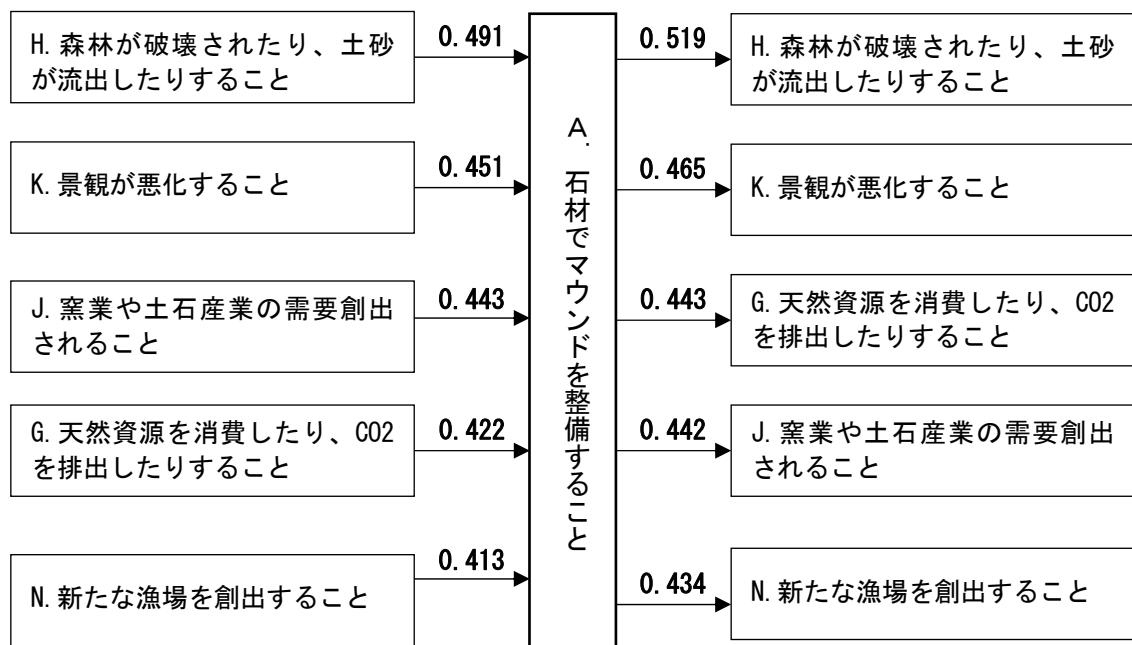


図 2-4-2 相互関連図

iii) 特定要素に着目した影響、被影響関係

図 2-4-3 は特定の要素を軸として、各要素との影響、被影響の関係を示している。ここでは、「A. 石材でマウンドを整備すること」に着目して、影響・被影響の関係強さを表す総合影響係数の大きいものから上位 5 要素を示した。

要素「H. 森林が破壊されたり、土砂が流通したりすること」とは影響、被影響の相互関係が大きい。



※総合影響係数の大きい順

図 2-4-3 特定要素に着目した上位 5 位の影響、被影響関係

b) 普通コンクリート工法

普通コンクリート工法の各環境要素の相互関係については、DEMATEL 法のアンケート調査結果から表 2-4-4 の総合影響行列を求め、この行列から表 2-4-5 に示す影響度、被影響度、原因度、中心度を求めた。

表 2-4-4 総合影響行列

	b と普通コンクリートで整備すること	e 胆振海岸を保全すること	f 廃棄物を削減すること	g 天然資源を消費したり	h 森林が破壊されたり、土砂が流出したり	i リサイクルを推進すること	j 窯業や土石産業の需要創出されること	k 景観が悪化すること	l サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	m 漁業資源（魚種）が多様化すること	n 新たな漁場を創出すること	o 藻場を創出すること
B 普通コンクリートでマウンドを整備すること	0.309	0.353	0.330	0.372	0.413	0.336	0.382	0.360	0.378	0.366	0.377	0.322
E 胆振海岸を保全すること	0.355	0.282	0.319	0.355	0.406	0.333	0.381	0.349	0.367	0.356	0.366	0.344
F 廃棄物を削減すること	0.377	0.350	0.284	0.386	0.425	0.376	0.382	0.366	0.378	0.374	0.377	0.340
G 天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	0.408	0.375	0.368	0.323	0.451	0.382	0.401	0.389	0.391	0.370	0.376	0.354
H 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	0.456	0.444	0.411	0.467	0.423	0.442	0.463	0.466	0.474	0.455	0.456	0.441
I リサイクルを推進すること	0.385	0.363	0.378	0.394	0.426	0.297	0.393	0.376	0.384	0.369	0.377	0.350
J 窯業や土石産業の需要創出されること	0.427	0.394	0.378	0.417	0.449	0.384	0.339	0.402	0.405	0.387	0.397	0.372
K 景観が悪化すること	0.398	0.385	0.359	0.403	0.450	0.360	0.405	0.309	0.376	0.366	0.372	0.348
L サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	0.395	0.349	0.337	0.360	0.409	0.347	0.381	0.351	0.307	0.366	0.379	0.342
M 漁業資源（魚種）が多様化すること	0.351	0.313	0.302	0.325	0.376	0.309	0.332	0.317	0.338	0.269	0.352	0.318
N 新たな漁場を創出すること	0.400	0.356	0.341	0.362	0.412	0.346	0.372	0.350	0.398	0.387	0.309	0.363
O 藻場を創出すること	0.384	0.359	0.341	0.370	0.434	0.355	0.376	0.358	0.391	0.387	0.392	0.288

i) 要素の中心度と原因度による分析

表 2-4-5 は、各要素の間でどの要素が他の要素にどの程度影響を与えているか、影響を与えていているかを見るものである。ある要素が影響を与えている程度（影響度）と与えられている程度（被影響度）を加算したものは、要素間の構図の中で中心的な要素かどうかの評価となり、中心度という。影響度と被影響度の差である原因度は要素間の関係において、構図の中で原因の程度を表すものである。

図 2-4-4 は、要素の中心度と原因度をグラフ化したものである。

中心度、原因度がともに大きい中心的要素は、「G. 天然資源を消費したり、CO₂を排出したりすること」「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」「J. 窯業や土石産業の需要創出されること」である。

一方、「O. 藻場を創出すること」を除く漁業に関する要素は、原因度がマイナスであり、中心度も小さいことから、他の要素に影響を受ける要素である。

表 2-4-5 分析結果

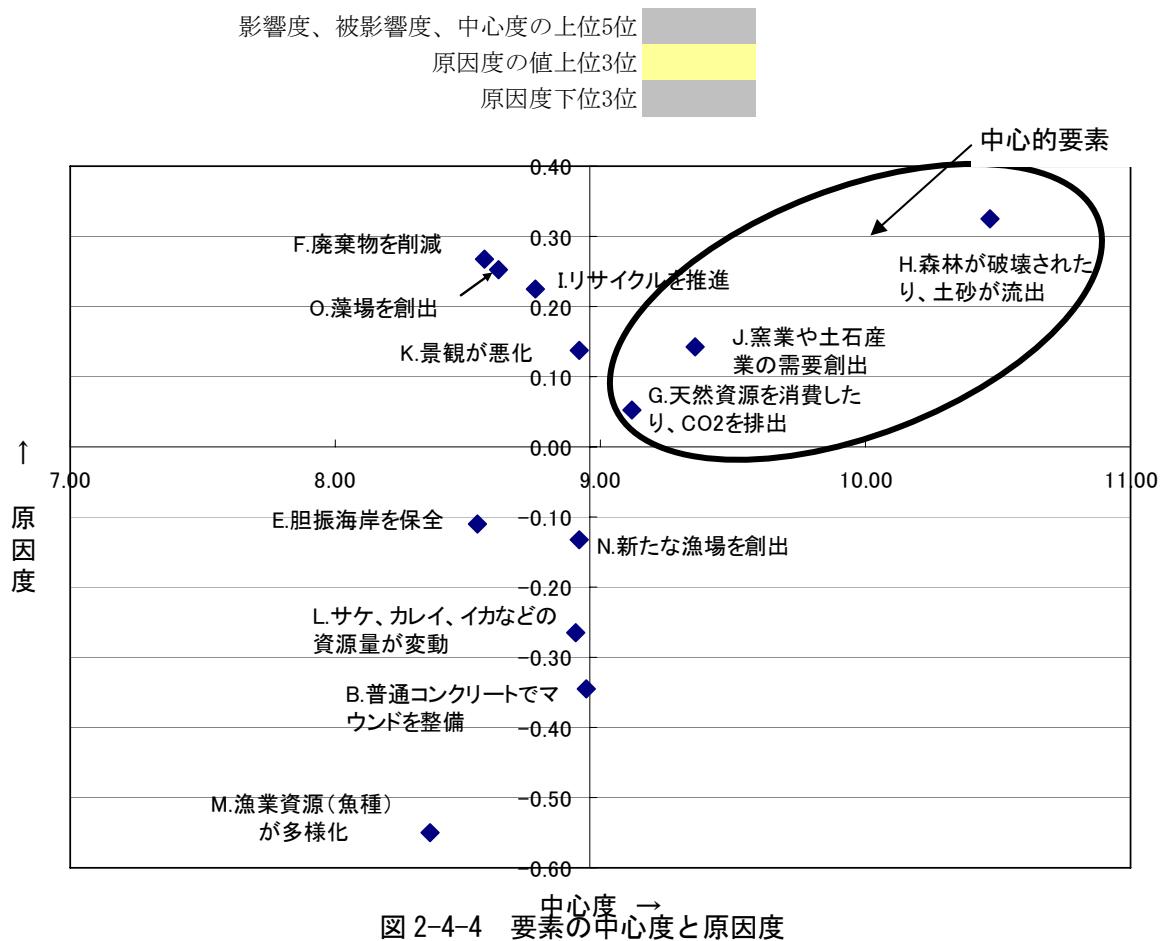
		影響度	被影響度	原因度	中心度	中心度の順位
B	普通コンクリートでマウンドを整備すること	4.30	4.64	-0.35	8.94	4
E	胆振海岸を保全すること	4.21	4.32	-0.11	8.53	11
F	廃棄物を削減すること	4.41	4.15	0.27	8.56	10
G	天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	4.59	4.53	0.05	9.12	3
H	森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	5.40	5.07	0.32	10.47	1
I	リサイクルを推進すること	4.49	4.27	0.23	8.76	8
J	窯業や土石産業の需要創出されること	4.75	4.61	0.14	9.36	2
K	景観が悪化すること	4.53	4.39	0.14	8.92	5
L	サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	4.32	4.59	-0.26	8.91	7
M	漁業資源（魚種）が多様化すること	3.90	4.45	-0.55	8.35	12
N	新たな漁場を創出すること	4.39	4.53	-0.13	8.92	6
O	藻場を創出すること	4.44	4.18	0.25	8.62	9
	平均値			0.00	8.96	

影響度：その要素が他のすべての要素に与える直接・間接の影響の強さの総和

被影響度：その要素が他のすべての要素から受ける直接・間接の影響の強さの総和

原因度：影響度と被影響度の差

中心度：影響度と被影響度の合計



ii) 総合影響係数からみた要素間の相互関係

要素間の相互関係を相互関連図で表したのが図 2-4-5 である。この相互関連図は総合影響行列（表 2-4-4）の中から総合影響係数の大きい関係を 12 抽出して、要素間を影響する方向の矢印で結んだものである。

図の中央にある要素「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」は各要素への矢印が集中しており、他要素へ最も影響を与える要素であると認識されている。

また、「B. 普通コンクリートでマウンドを整備すること」は「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」から大きい影響を受ける。

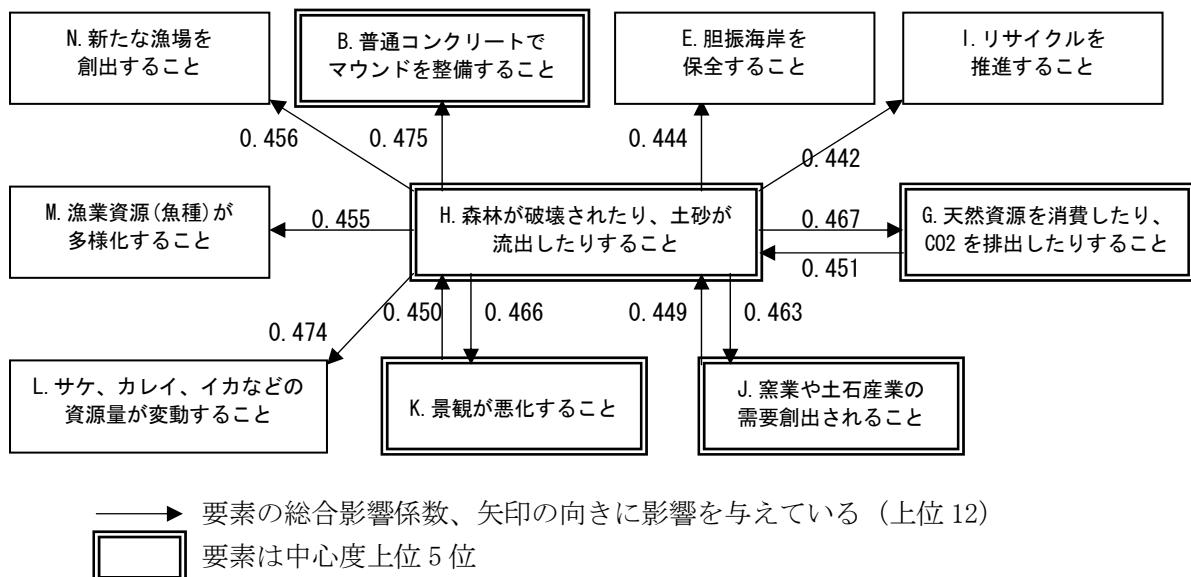
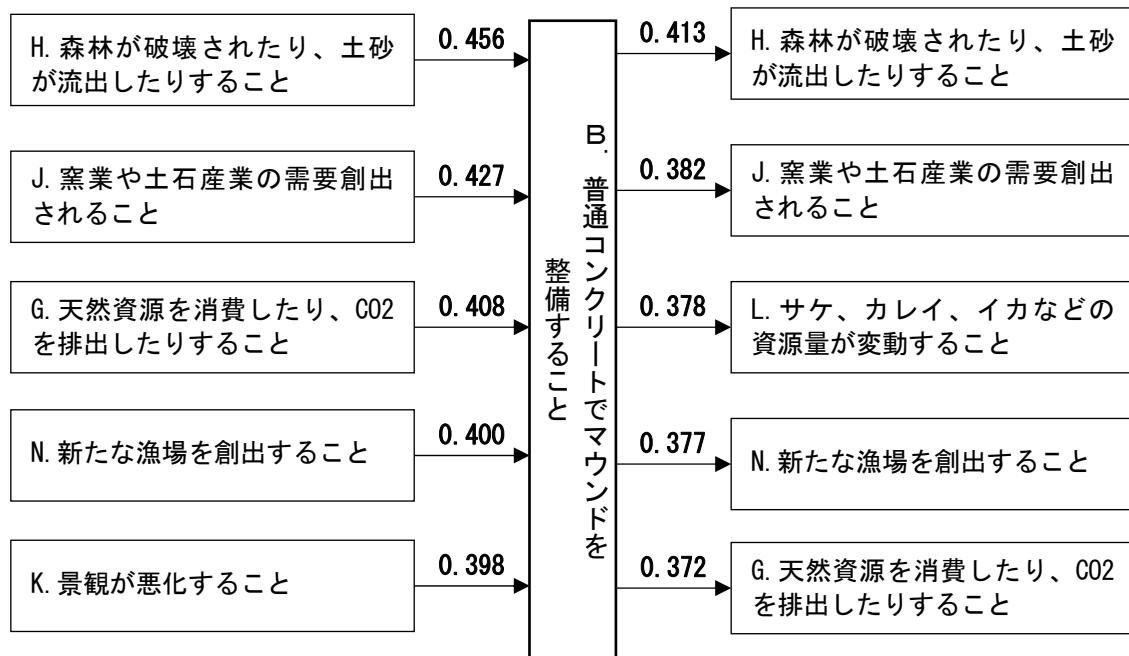


図 2-4-5 相互関連図

iii) 特定要素に着目した影響、被影響関係

図 2-4-6 は特定の要素を軸として、各要素との影響、被影響の関係を示している。ここでは「B. 普通コンクリートでマウンドを整備すること」に着目して、影響・被影響の関係強さを表す総合影響係数の大きいものから上位 5 要素を示した。

要素「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」とは、影響、被影響の相互関係が大きい。



※総合影響係数の大きい順

図 2-4-6 特定要素に着目した上位 5 位の影響、被影響関係

c) アッシュクリート工法

アッシュクリート工法の各環境要素の相互関係については、DEMATEL 法のアンケート調査結果から表 2-4-6 の総合影響行列を求め、この行列から表 2-4-7 に示す影響度、被影響度、原因度、中心度を求めた。

表 2-4-6 総合影響行列

	c	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
とアッシュクリートで整備すること	胆振海岸を保全すること	廃棄物を削減すること	天然資源を消費したり	森林が破壊されたり、土砂が流	リサイクルを推進すること	窯業や土石産業の需要創出され	景観が悪化すること	サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	漁業資源（魚種）が多様化する	新たな漁場を創出すること	藻場を創出すること	
C アッシュクリートでマウンドを整備すること	0.368	0.398	0.436	0.422	0.457	0.457	0.420	0.384	0.433	0.436	0.447	0.383
E 胆振海岸を保全すること	0.385	0.313	0.367	0.389	0.441	0.386	0.412	0.375	0.403	0.395	0.406	0.380
F 廃棄物を削減すること	0.447	0.394	0.346	0.433	0.474	0.445	0.427	0.404	0.428	0.428	0.431	0.388
G 天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	0.439	0.410	0.421	0.359	0.489	0.441	0.434	0.417	0.429	0.413	0.418	0.393
H 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	0.486	0.483	0.470	0.508	0.464	0.508	0.500	0.497	0.517	0.502	0.504	0.484
I リサイクルを推進すること	0.471	0.412	0.447	0.447	0.481	0.371	0.443	0.419	0.439	0.428	0.436	0.403
J 窯業や土石産業の需要創出されること	0.464	0.430	0.435	0.457	0.489	0.447	0.373	0.432	0.446	0.432	0.443	0.413
K 景観が悪化すること	0.404	0.412	0.403	0.431	0.479	0.409	0.430	0.329	0.406	0.400	0.406	0.379
L サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	0.436	0.384	0.391	0.398	0.448	0.407	0.416	0.380	0.346	0.410	0.424	0.382
M 漁業資源（魚種）が多様化すること	0.392	0.346	0.351	0.361	0.413	0.364	0.365	0.344	0.375	0.309	0.394	0.355
N 新たな漁場を創出すること	0.446	0.393	0.397	0.402	0.453	0.409	0.409	0.380	0.441	0.433	0.354	0.405
O 藻場を創出すること	0.430	0.396	0.397	0.410	0.475	0.416	0.412	0.389	0.433	0.433	0.439	0.328

i) 要素の中心度と原因度による分析

表 2-4-7 は、各要素の間でどの要素が他の要素にどの程度影響を与えているか、影響を与えていているかを見るものである。ある要素が影響を与えている程度（影響度）と与えられている程度（被影響度）を加算したものは、要素間の構図の中で中心的な要素かどうかの評価となり、中心度という。影響度と被影響度の差である原因度は要素間の関係において、構図の中で原因の程度を表すものである。

図 2-4-7 は、要素の中心度と原因度をグラフ化したものである。

中心度、原因度がともに大きい中心的要素は「G. 天然資源を消費したり、CO₂を排出したりすること」「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」「I. リサイクルを推進すること」「J. 窯業や土石産業の需要創出されること」である。天然石、普通コンクリートでは中心度の順位が低かった「I. リサイクルを推進すること」の中心度が大きい。

表 2-4-7 分析結果

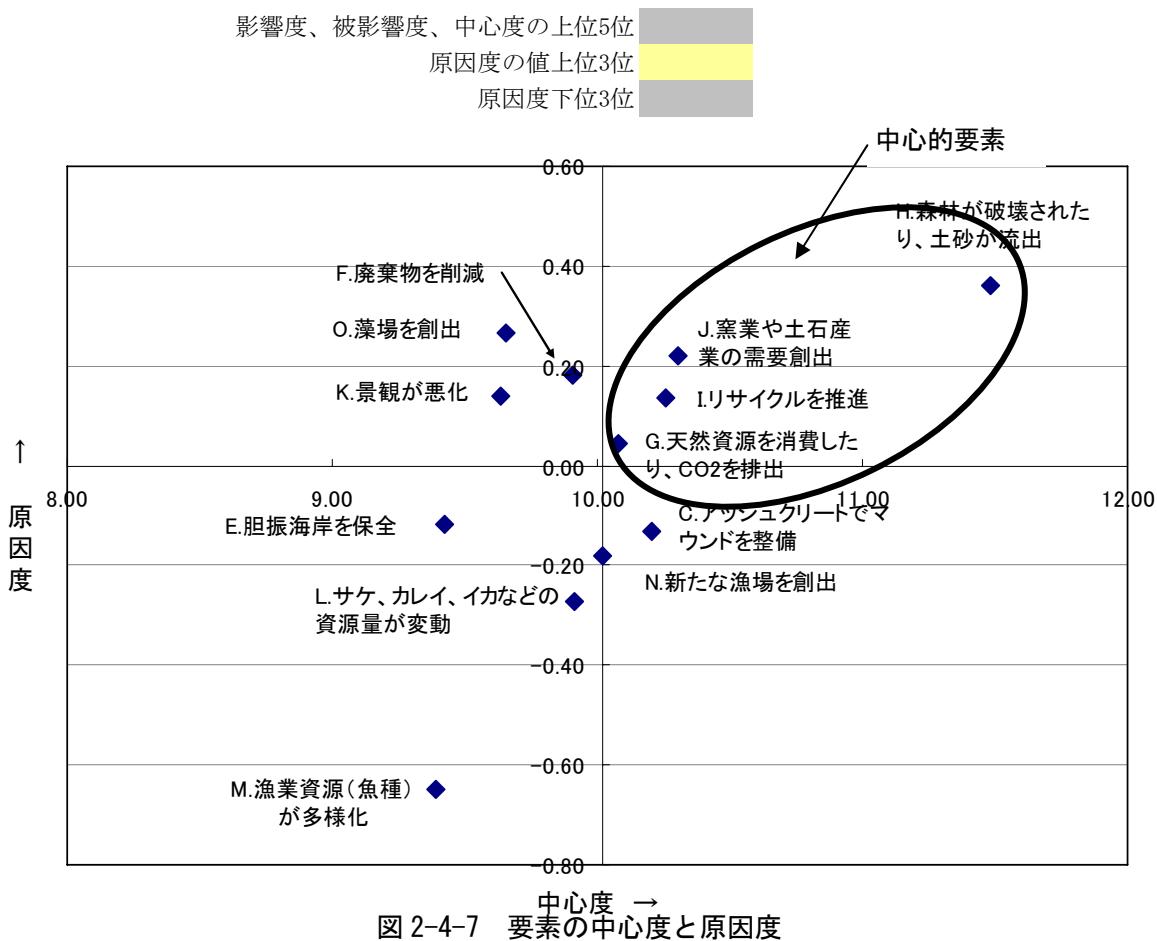
		影響度	被影響度	原因度	中心度	中心度の順位
C	アッシュクリートでマウンドを整備すること	5.04	5.17	-0.13	10.21	4
E	胆振海岸を保全すること	4.65	4.77	-0.12	9.42	11
F	廃棄物を削減すること	5.04	4.86	0.18	9.91	8
G	天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	5.06	5.02	0.05	10.08	5
H	森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	5.92	5.56	0.36	11.48	1
I	リサイクルを推進すること	5.20	5.06	0.14	10.26	3
J	窯業や土石産業の需要創出されること	5.26	5.04	0.22	10.30	2
K	景観が悪化すること	4.89	4.75	0.14	9.64	10
L	サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	4.82	5.09	-0.27	9.92	7
M	漁業資源（魚種）が多様化すること	4.37	5.02	-0.65	9.39	12
N	新たな漁場を創出すること	4.92	5.10	-0.18	10.02	6
O	藻場を創出すること	4.96	4.69	0.27	9.65	9
	平均値			0.00	10.02	

影響度：その要素が他のすべての要素に与える直接・間接の影響の強さの総和

被影響度：その要素が他のすべての要素から受ける直接・間接の影響の強さの総和

原因度：影響度と被影響度の差

中心度：影響度と被影響度の合計



ii) 総合影響係数からみた要素間の相互関係

要素間の相互関係を相互関連図で表したのが図 2-4-8 である。この相互関連図は総合影響行列（表 2-4-6）の中から総合影響係数の大きい関係を 12 抽出して、要素間を影響する方向の矢印で結んだものである。

図の中央にある要素「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」は各要素への矢印が集中しており、他要素へ最も影響を与える要素であると認識されている。

また、「C. アッシュクリートでマウンドを整備すること」は「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」から影響を受ける。

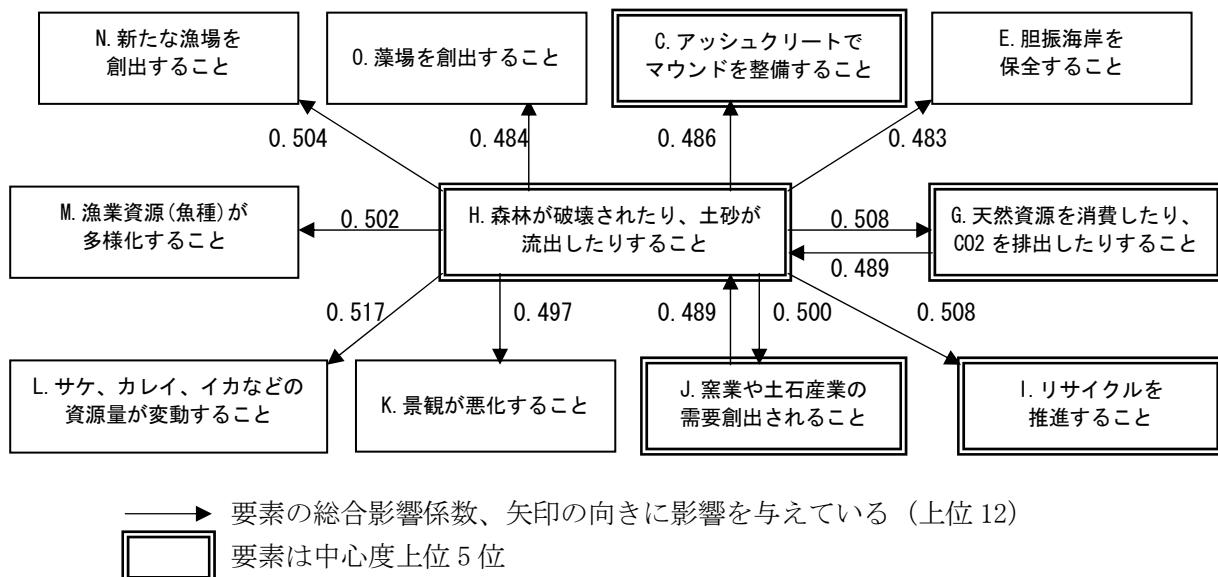
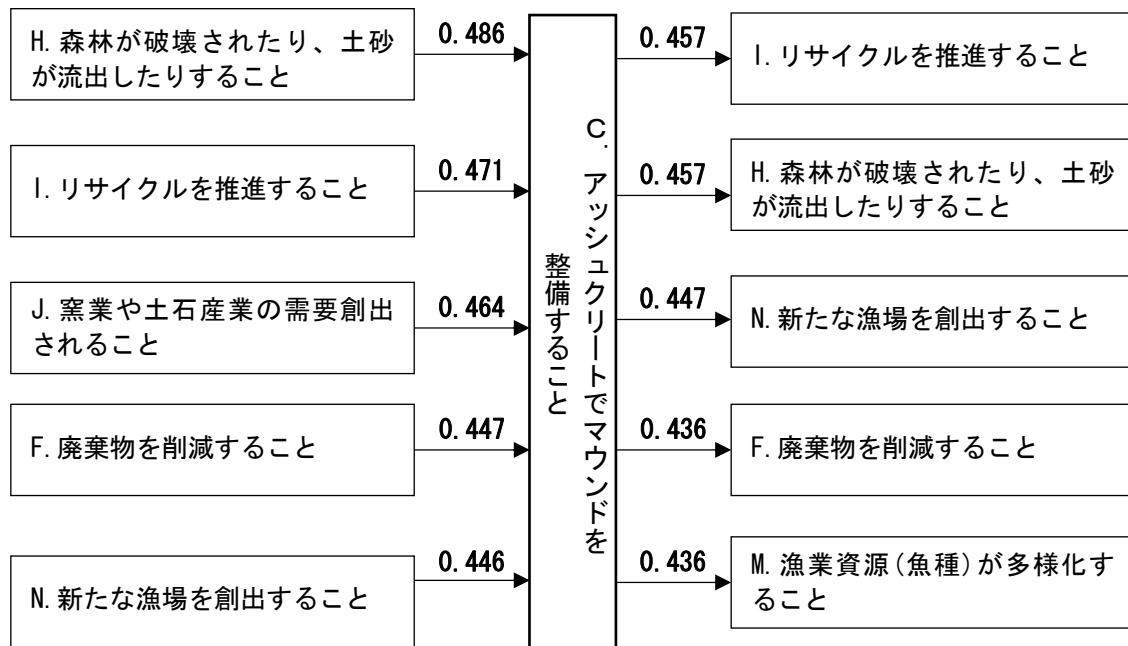


図 2-4-8 相互関連図

iii) 特定要素に着目した影響、被影響関係

図 2-4-9 は特定の要素を軸として、各要素との影響、被影響の関係を示している。ここでは「C. アッシュクリートでマウンドを整備すること」に着目して影響・被影響の関係強さを表す総合影響係数の大きいものから上位 5 要素を示した。

要素「C. アッシュクリートでマウンドを整備すること」と影響、被影響の相互関係が大きい要素は「F. 廃棄物を削減すること」「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」「N. 新たな漁場を創出すること」「I. リサイクルを推進すること」であり、廃棄物削減やリサイクル推進に関連する要素が含まれる。一方、「C. アッシュクリートでマウンドを整備すること」が要素として、工法「A. 石材でマウンドを整備すること」「B. 普通コンクリートでマウンドを整備すること」では見られなかった「M. 漁業資源（魚種）が多様化すること」が挙がっている。地域の人が漁業資源の影響を意識している表れである。



※総合影響係数の大きい順

図 2-4-9 特定要素に着目した上位 5 位の影響、被影響関係

d) 貝入りアッシュクリート工法

貝入りアッシュクリート工法と各環境要素の相互関係については、DEMATEL 法のアンケート調査結果から表 2-4-8 の総合影響行列を求め、この行列から表 2-4-9 に示す影響度、被影響度、原因度、中心度を求めた。

表 2-4-8 総合影響行列

	d る貝 こ入 とア ッ シ ュ クリー トで 整備 す	e 胆 振海 岸を 保全 す るこ と	f 廃 棄物 を削 減す ること	g 天 然 資 源 を消 費す ること	h 出 森 林 が破 壊さ れること	i リ サイ クル を推 進す ること	j 窯 業や 土 石 産 業 の需 要創 出さ れること	k 景 観 が悪 化す ること	l サ ケ、カ レイ、イ カなどの 資源 量が 変動す ること	m 漁 業 資 源 (魚 種) が多 様化 する	n 新 た な 漁 場 を創 出す こと	o 藻 場 を創 出す こと	
D	貝入りアッシュクリートでマウンドを整備すること	0.357	0.383	0.425	0.410	0.435	0.442	0.397	0.369	0.413	0.412	0.423	0.367
E	胆振海岸を保全すること	0.382	0.305	0.361	0.382	0.431	0.378	0.402	0.367	0.394	0.385	0.395	0.372
F	廃棄物を削減すること	0.447	0.387	0.340	0.427	0.464	0.438	0.416	0.396	0.419	0.417	0.420	0.381
G	天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	0.435	0.401	0.414	0.351	0.478	0.432	0.423	0.408	0.419	0.401	0.407	0.384
H	森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	0.485	0.474	0.463	0.500	0.453	0.499	0.488	0.488	0.506	0.490	0.492	0.475
I	リサイクルを推進すること	0.470	0.405	0.441	0.440	0.470	0.364	0.432	0.411	0.429	0.417	0.426	0.396
J	窯業や土石産業の需要創出されること	0.464	0.423	0.428	0.450	0.478	0.439	0.363	0.424	0.436	0.421	0.433	0.405
K	景観が悪化すること	0.401	0.404	0.396	0.424	0.468	0.401	0.419	0.321	0.396	0.389	0.395	0.371
L	サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	0.432	0.376	0.384	0.391	0.437	0.399	0.405	0.372	0.336	0.399	0.412	0.374
M	漁業資源（魚種）が多様化すること	0.388	0.338	0.345	0.354	0.403	0.356	0.355	0.337	0.366	0.300	0.384	0.348
N	新たな漁場を創出すること	0.441	0.385	0.390	0.394	0.442	0.400	0.398	0.372	0.430	0.422	0.343	0.396
O	藻場を創出すること	0.426	0.388	0.390	0.403	0.464	0.408	0.401	0.381	0.423	0.422	0.428	0.320

i) 要素の中心度と原因度による分析

表 2-4-9 は、各要素の間でどの要素が他の要素にどの程度影響を与えているか、影響を与えていているかを見るものである。ある要素が影響を与えている程度（影響度）と与えられている程度（被影響度）を加算したものは、要素間の構図の中で中心的な要素かどうかの評価となり、中心度という。影響度と被影響度の差である原因度は要素間の関係において、構図の中で原因の程度を表すものである。

図 2-4-10 は、要素の中心度と原因度をグラフ化したものである。

中心度、原因度がともに大きい中心的要素は「G. 天然資源を消費したり、CO₂を排出したりすること」「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」「I. リサイクルを推進すること」「J. 窯業や土石産業の需要創出されること」である。

一方、「O. 藻場を創出すること」を除く漁業に関連した要素は原因度がマイナスであり、中心度も小さいことから、他の要素に影響を受ける要素がある。

表 2-4-10 分析結果

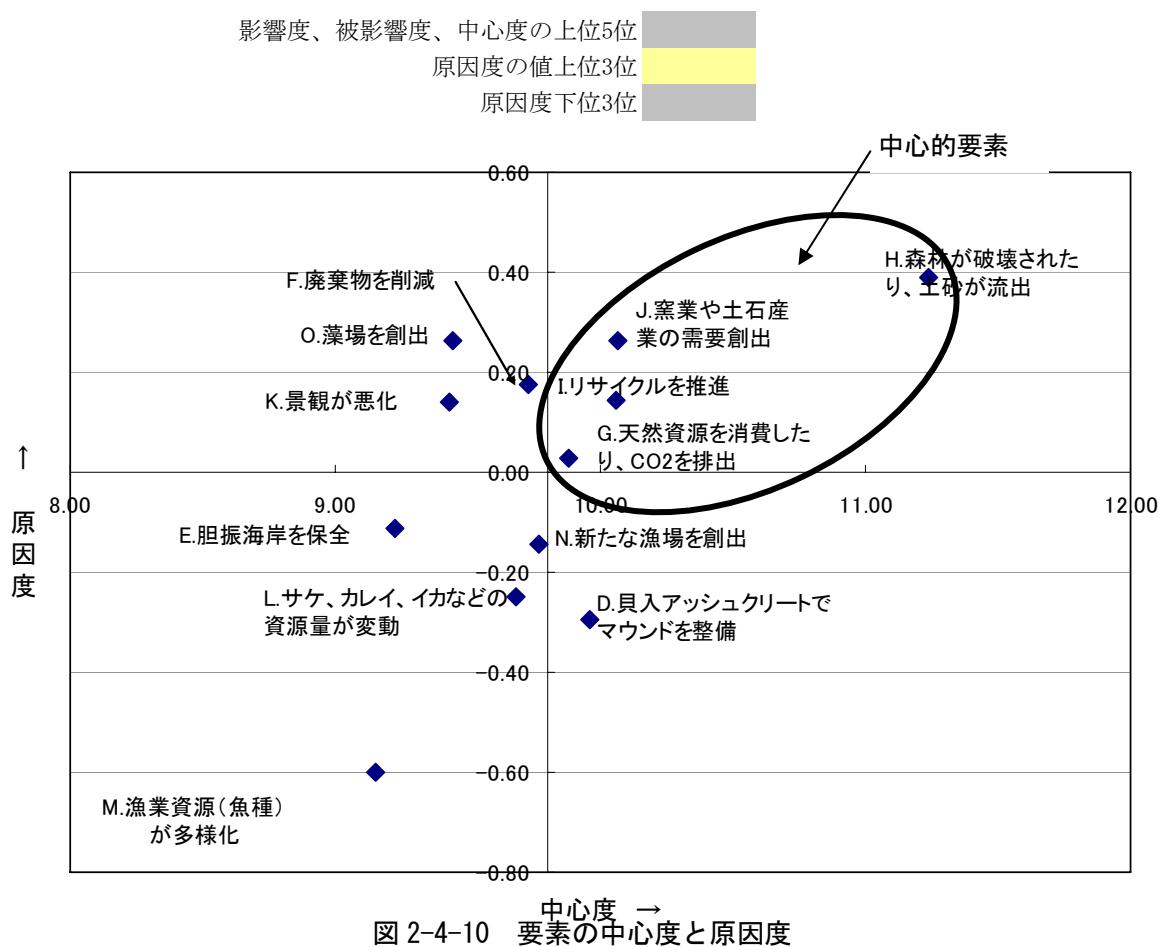
		影響度	被影響度	原因度	中心度	中心度の順位
D	貝入アッシュクリートでマウンドを整備すること	4.83	5.13	-0.30	9.96	4
E	胆振海岸を保全すること	4.55	4.67	-0.11	9.22	11
F	廃棄物を削減すること	4.95	4.78	0.17	9.73	7
G	天然資源を消費したり、CO ₂ を排出したりすること	4.95	4.93	0.03	9.88	5
H	森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること	5.81	5.42	0.39	11.24	1
I	リサイクルを推進すること	5.10	4.96	0.15	10.06	3
J	窯業や土石産業の需要創出されること	5.16	4.90	0.26	10.06	2
K	景観が悪化すること	4.79	4.65	0.14	9.43	10
L	サケ、カレイ、イカなどの資源量が変動すること	4.72	4.97	-0.25	9.68	8
M	漁業資源（魚種）が多様化すること	4.27	4.88	-0.60	9.15	12
N	新たな漁場を創出すること	4.81	4.96	-0.14	9.77	6
O	藻場を創出すること	4.85	4.59	0.26	9.44	9
	平均値			0.00	9.80	

影響度：その要素が他のすべての要素に与える直接・間接の影響の強さの総和

被影響度：その要素が他のすべての要素から受ける直接・間接の影響の強さの総和

原因度：影響度と被影響度の差

中心度：影響度と被影響度の合計



ii) 総合影響係数からみた要素間の相互関係

要素間の相互関係を相互関連図で表したのが図 2-4-11 である。この相互関連図は総合影響行列（表 2-4-8）の中から総合影響係数の大きい関係を 12 抽出して、要素間を影響する方向の矢印で結んだものである。

図の中央にある要素「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」は各要素への矢印が集中しており、他要素へ最も影響を与える要素であると認識されている。

また、「D. 貝入アッシュクリートでマウンドを整備すること」は「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」から影響を受ける。

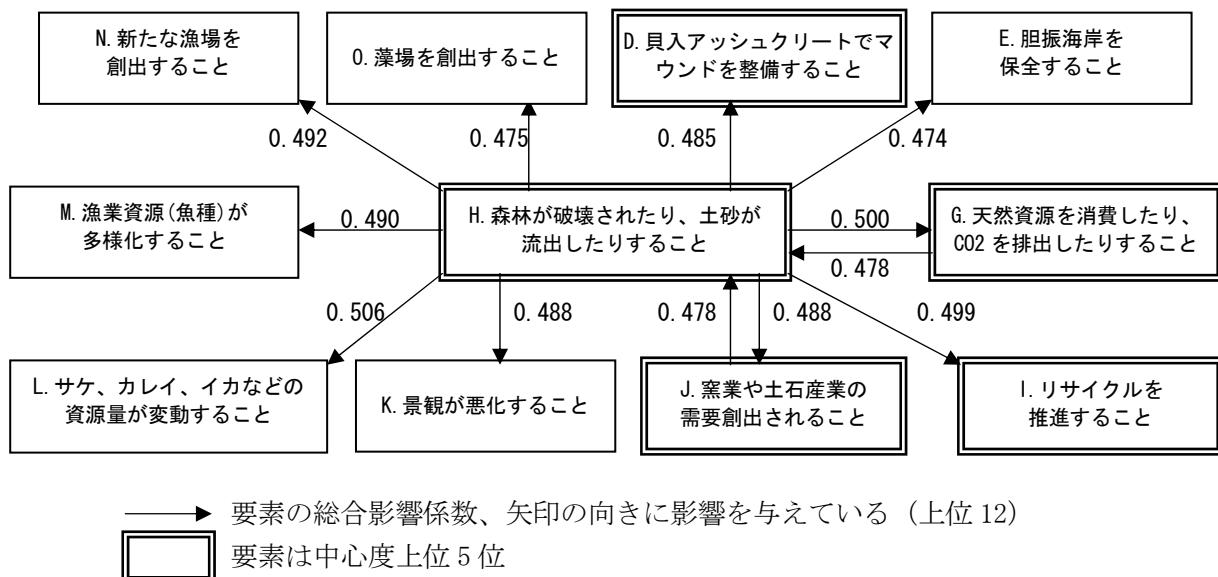
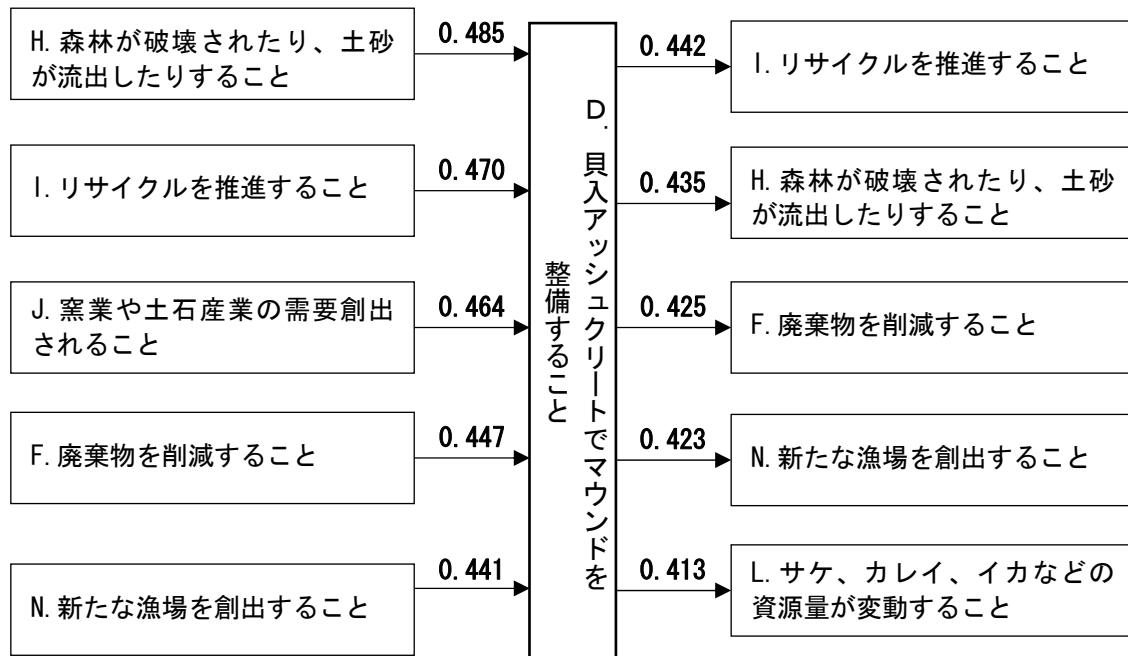


図 2-4-11 相互関連図

iii) 特定要素に着目した影響、被影響関係

図 2-4-12 は特定の要素を軸として、各要素との影響、被影響の関係を示している。影響・被影響の関係強さを表す総合影響係数の大きいものから上位 5 要素を示した。

要素「D. 買入アッシュクリートでマウンドを整備すること」と影響、被影響の相互関係が大きい要素は「F. 廃棄物を削減すること」「H. 森林が破壊されたり、土砂が流出したりすること」「I. リサイクルを推進すること」「N. 新たな漁場を創出すること」であり、とくに廃棄物削減やリサイクル推進に関連する要素が含まれる。



※総合影響係数の大きい順

図 2-4-12 特定要素に着目した上位 5 位の影響、被影響関係

2-5 リサイクル材を用いた水産基盤整備事業の意思決定手法について新たな提案

以上の内部コスト・外部コスト算出および AHP 法、DEMATEL 法による解析結果から、客観的な判断基準が共通認識されたリサイクル材を循環資源として使用する場合の新たな意志決定手法を提案する。

■環境に対する認識の高さを考慮した事業推進が不可欠

今回の調査・解析により、AHP では「貝入りアッシュクリートによる整備」「資源循環性による事業の評価」が重要であるという意見が、他の選択肢のそれぞれ 4 倍、3 倍の重要度があると評価された。また、これを裏打ちするデータとして、アンケート調査の実施のために事前に行ったプレアンケートにおいて、「地域を代表する要素」を各機関 5 人（総会頭数 48 人）に伺った結果、下表のように漁業関係に関するキーワードはもとより、「ゴミ問題」や「地球温暖化」といった要素に対する意識が高いことが伺えた。

こうした結果を受け、今後の事業推進に当たっては、環境に対する認識の高さを考慮することが重要と考えられる。したがって、内部コストのみではなく、外部コスト（特に資源循環性）を加味した、事業の評価を実施する必要がある。

表 2-5-1 地域を代表する重要な要素

順位	キーワード	単純回答
1	サケ定置漁業	124
2	水質の悪化	124
3	カレイ刺網漁業	123
4	燃油の高騰	123
5	スケトウダラ刺網漁業	122
6	海岸浸食	117
7	ゴミ問題	115
8	水産物の価格の低迷	113
9	ホッキ漁業	110
10	地球温暖化	107

3 研究結果のまとめ及び今後の課題並びに対応策

本研究の結果、本事業の推進に対する地元の意向として環境への影響を加味した事業推進が望まれていることがわかった。したがって、地元との合意形成を図る上では、工法の選択、評価手法の選択について十分留意する必要があることも伺えた。

すなわち、本研究を通じて実施したような方法を用いて、地域の住民や事業者に事業の情報を提供するとともに、事業を含めた地域に関する地元関係者の意向を汲み取ることで、事業推進上の合意形成に極めて有益な情報が得られることが明確になった。この点が本研究を通じて提案している新たな合意形成手法の有用性を裏付けるものと、筆者らは考えている。

しかしながら、提案した手法にはいくつかの課題が残されている。以下に、今後の課題とその対応策を検討した。

3-1 研究で導き出された今後の課題

研究で導き出された今後の課題を整理すると次のとおりである。

1. 工法の選択（趣向性）にあたっては、各工法の解説によって回答が左右される可能性がある
2. 外部コストの算定結果には、算定法の違いにより百倍のオーダーで開きがあった。同一事業にも係わらず評価値が大きく異なることは、事業の推進上大きな問題である。
3. 外部コストの評価法として、資源生産性を重視する意見が多かった。しかし、資源生産性は、評価値（円／t）で表現され、結果がコスト（＝金額）として頗れないため、内部コストと合算した形で総合的な評価を下すことが難しい。

3-2 課題解決のための方策

上記のそれぞれの課題に対する方策は次のとおりである。

1. 各工法の解説については、できる限り詳細な情報収集が必要であり、これを基に関係者への説明にあたっては、わかりやすく誤解のない方法で行う。
2. 外部コストの算定手法は、未だ開発途上であることにかんがみ、国内外における最新の技術動向を踏まえ、適切な方法で算定を行う。
3. 資源生産性の評価値と内部コストを組合せ（必要に応じて他の情報を加え）、新たな評価基準値を基に事業の総合的評価を行う。例えば、資源生産性は高いほど良い事業と評価され、内部コストは低いほど良いことにかんがみ、資源生産性を内部コストで除した値を用いる方法などが考えられる。