

因果分析を用いた行動変容の 促進手法に関する検討

国土環境研究所 環境技術部門 地域共創推進部

兼 東北支店 自然環境保全部

主査研究員 幸福 智



- 生物多様性国家戦略2023-2030にある通り、ネイチャーポジティブを達成するためには、一人一人の行動変容（基本戦略4）を通じた社会変革が必要である。
- しかしながら、人は様々なバイアスの影響を受け、必ずしも合理的な行動をとらないことが過去の多くの研究から知られている。（行動経済学など）
- 多方、そのバイアスを活用した介入（例：情報提供ナッジなど）により、消費者の行動変容の促進が実現する可能性がある。



- 本調査では、「消費者が意識しないうちにサステナブルな商品を購入している」状態を目標とした際の、有効な介入点及び介入策を検討することを目的としたものである。
- ただし、介入点及び介入策の検討においても、立案者にかかったバイアスによって有効な仮説立案に障害が発生する可能性がある。
- 以下のメリットから、AIを実装した構造的因果モデル（SCM）を活用し、観察データに基づく消費者の購買行動に影響を与え得る介入点・介入策の探索を試行した。
 - 観察データから因果グラフを作図し、因果関係を分かりやすく表現し、真因を探索できる。
 - 間接効果を含めた因果効果を評価できる（多重共線性（説明変数間の関連性）が残った状態で分析可能）。
 - 他の手法に比べて少ないサンプル数で分析で多くの説明変数を扱える。
 - 介入効果を定量的に評価できる。

統計的因果推論の枠組みを活用した介入策検討プロセス



今年度の試行範囲

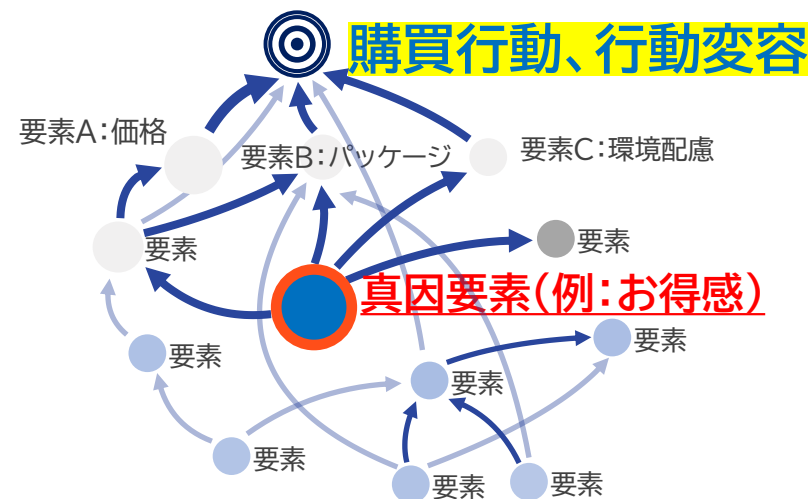
- **無給餌養殖**による水産物の一つ
- 嗜好性が強く、品質等に求める要求水準が高い。
- **因果探索の結果、因果関係が明確に表出しやすいと考えられた**ことから、牡蠣をテーマとして試行的に実施

調査から得られた客観的
定量データの観察

以下の条件を満たす、緻密
に設計された調査

- 目的変数が明示されている
- 説明変数が分散し、設計者のバイアスが排除されるような説明変数群で構成される

統計的因果推論の枠組み



構造的因果モデル (SCM) による因果探索

データに基づく、より確からしい仮説

介入なし

ASCの貝 498円

介入あり

**あのASCの貝がお得
なんと！！ 498円**

ランダム化比較試験 (RCT)



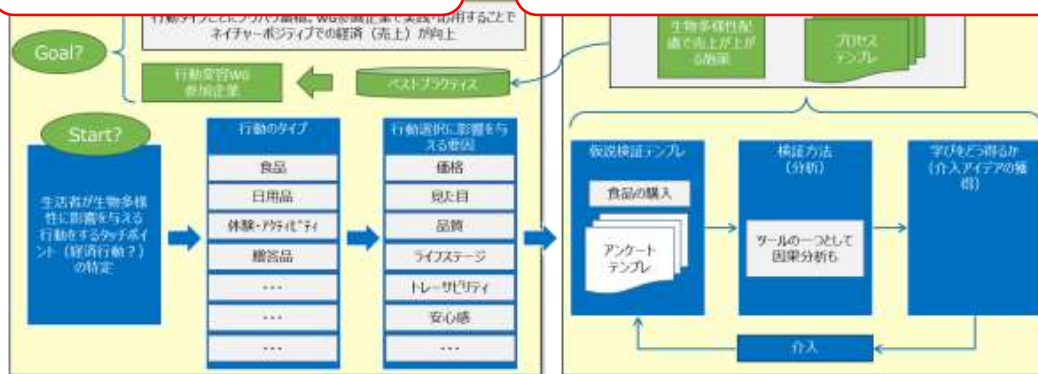
深掘り

施策の立案実施

主たる結論

得られた知見

牡蠣で試行



- 構造的因果モデル（SCM）を用いた因果探索によって、「**思わず買いたくなる**」**介入点**を発見できた。
- 同手法を用いることで、ネイチャーポジティブを実現するための消費者の行動変容が実現する可能性がある。

■ 本調査の結果が示唆する重要事項と留意点

- **データと統計分析に立脚した、客観的な施策の立案**が重要。これまで重要と思っていた介入策が、「実はあまり効果が無い」という結果になることや、**想定していなかった有効な介入策**が見いだせることがある。
- **一定の商品カテゴリー**を設けて、**典型性の高い商品**を決め、客観的データを取ることが重要。

■ 結果の概要

- 今年度、牡蠣は無給餌養殖の例として扱った
- **自然豊かな地域で生産されたこと**が間接効果を含め、牡蠣の購買意欲を高める因子になり得る事などが明らかとなった。
- この自然豊かな地域で生産されたことを示す方法としては、**文言による表現の他、写真の掲示などが考えられ、有効な介入策の一つ**であると考えられる。
- 認証商品を取り扱う際、自然豊かな写真を同時に掲示することで、**消費者に対してサステナブルな商品購入を促す効果**が期待できる可能性がある。
- ただし、これらは行政から消費者に対する直接的な介入ではなく、**事業者の協力が必要**である。

■ 今後の方向性

- 本調査で得られた結果は、観察データから因果関係を探索した結果である。**この結果を検証し、より確かなエビデンスとするためには、ランダム化比較試験（RCT）等の実施が望ましい。**
- 給餌養殖の場合や、農産物、林産物、あるいはこれらの加工品、旅行商品等の場合は異なる因果構造を有し、異なる介入策が有効である可能性があり、**他の商品カテゴリーを対象とした調査・因果分析も必要**と考えられる。

■ 留意点

- 上で言及した介入は、**持続可能ではない方法で生産された商品に関しても共通する**ものである。ネイチャーポジティブ経済への移行や国民の行動変容を効果的に促進するためには、**政策意図を理解し、賛同して行動に移す事業者**を優遇するなど、**別の促進策**が必要になると考えられる。

調査内容及び結果に関する概要

アンケート調査を実施

- 楽天インサイト社を通じたウェブアンケートを実施
 - 2024年2月22～25日し、サンプル数は2000件以上とした
 - 性別・年齢等の属性割り付けは実施していない
 - スクリーニングとして牡蠣が嫌いな人の回答の排除
- 右の写真をよく見たうえで、質問に回答していただいた。
 - 設問は、「目的変数」「中間因子」「説明変数」の3段階とした
 - 各設問の内容は次ページ以降
 - バイアスがかからないよう、ASC認証等に関する事前説明は実施していない



• 写真提供：浅田政志氏、太齋彰浩氏
• 協力：宮城県漁業協同組合 志津川支所

アンケート調査表（目的変数）

No.	目的変数 (以降、因子名冒頭に“A”と記載する)	回答形式	回答
1	あなたは、この牡蠣を買いたいと思いますか？	選択	とてもそう思う=5、ややそう思う=4、どちらともいえない=3、ややそう思わない=2、全くそう思わない=1
2	あなたは、この牡蠣を他の人にも勧めたいと思いますか？	選択	とてもそう思う=5、ややそう思う=4、どちらともいえない=3、ややそう思わない=2、全くそう思わない=1
3	(普通の牡蠣は398円が相場です。) あなたは、この牡蠣を購入する場合最大いくらまで払いますか？	直接入力	() 円

アンケート調査表（説明変数）

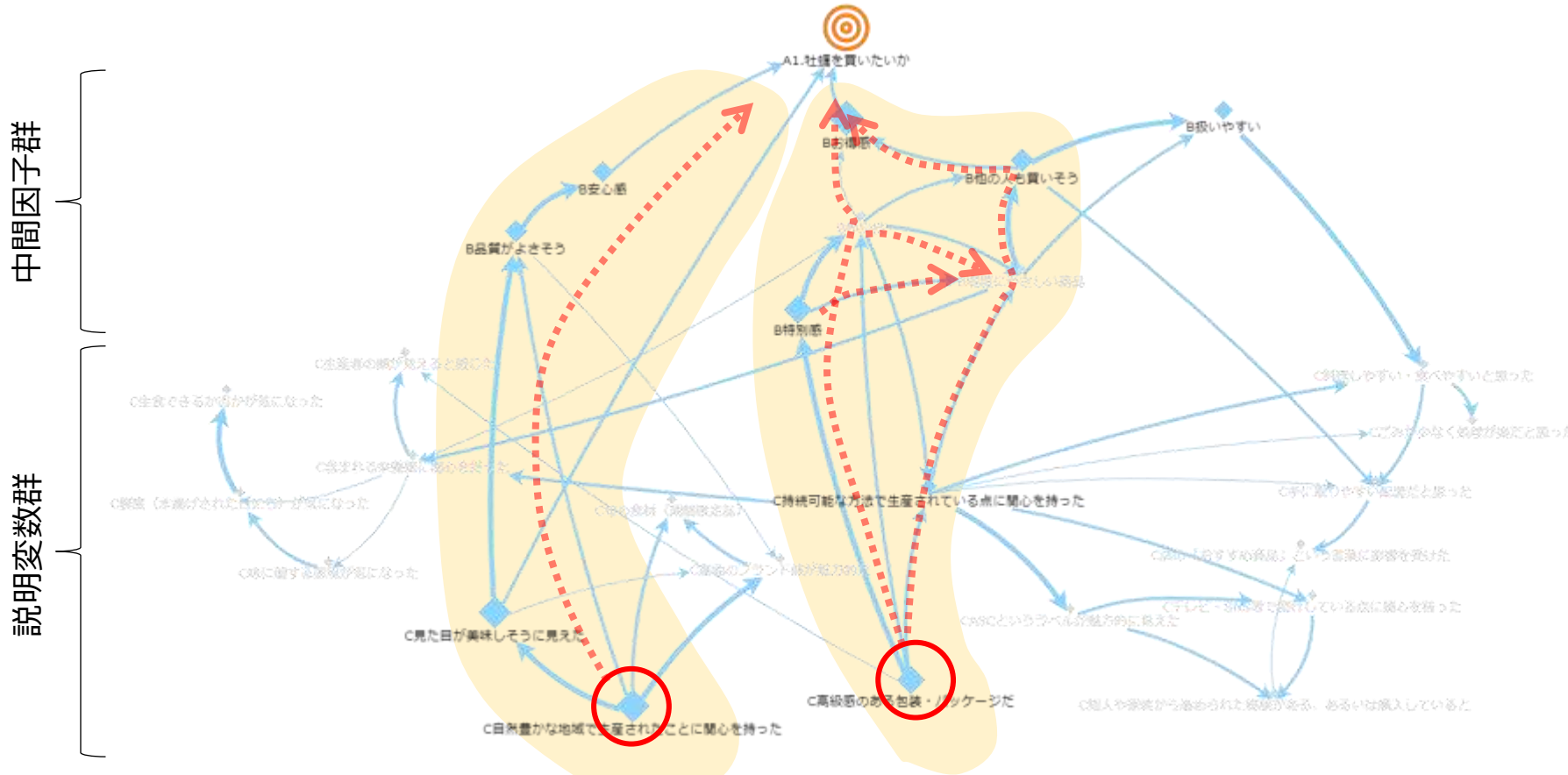
いずれの質問もとてもそう思う～全くそう思わないまでの5段階で回答

中間因子 （以降、因子名冒頭に“B”と記載する）	説明変数 （以降、因子名冒頭に“C”と記載する）
<ul style="list-style-type: none"> • 品質がよさそうと思う • 安心感を感じる • 特別感を感じる • 環境にやさしい商品だと思う • 他の人も買いそうだと思う • 扱いやすい商品だと思う • 希少性のある商品だと思う • お得な商品だと思う 	<ul style="list-style-type: none"> 味に関する表現が気になった 牡蠣の見た目が美味しそうに見えた 含まれる栄養価に関心を持った 生産者の顔が見えると感じた 生食できるか否かが気になった 鮮度（水揚げされた日にち）が気になった 高級感のある包装・パッケージだ 産地のブランド感が魅力的だ 旬の食材（期間限定品）だと思った 自然豊かな地域で生産された牡蠣であることに関心を持った ASCというラベルが魅力的に見えた 持続可能な方法で生産されている点に関心を持った テレビ・SNS等で流行している点に関心を持った 知人や家族から進められた経験がある、あるいは購入していると聞いた 店の「おすすめ商品」という言葉に影響を受けた 手に取りやすい配置だと思った 料理しやすい・食べやすいと思った ごみが少なく処理が楽だと思った

アンケート調査表（追加設問）

No.	設問	回答形式	回答
1	ASCは養殖水産物に対する認証で以下の7つの原則に従っています。 1.国および地域の法律および規制への準拠 2.自然生息地、地域の生物多様性および生態系の保全 3.野生個体群の多様性の維持 4.水資源および水質の保全 5.飼料およびその他の資源の責任ある利用 6.適切な魚病管理、抗生物質や化学物質の管理と責任ある使用 7.地域社会に対する責任と適切な労働環境 ASC認証について知っていますか？	選択	良く知っている=5 ある程度知っている=4 名前は聞いたことがある=3 どちらとも言えない=2 全く知らない=1
2	ASC認証が付与された牡蠣を購入する場合、標準的な販売価格を398円とすると、いくらまでなら支払いますか？	記入	() 円（直接入力）
1	1年間にどの程度牡蠣を食べますか？おおよその回数を教えてください。（飲食店での食事を含みます）	記入	() 自由回答、0～
2	1年間にどの程度お店で牡蠣を買いますか？おおよその回数を教えてください。	記入	() 自由回答、0～
3	自然について関心はありますか？	選択	関心があるほうだ=3 どちらともいえない=2 関心がないほうだ=1
4	幼少期に海で自然体験をした経験はありますか？	選択	よく海で自然体験した=3 どちらともいえない=2 ほとんど海で自然体験していない=1
1	このアンケートに回答して、思ったこと・感想を記載ください。	記入	

評価結果（カキの購買意欲）



45（表示エッジ数） / 71（有効エッジ数）

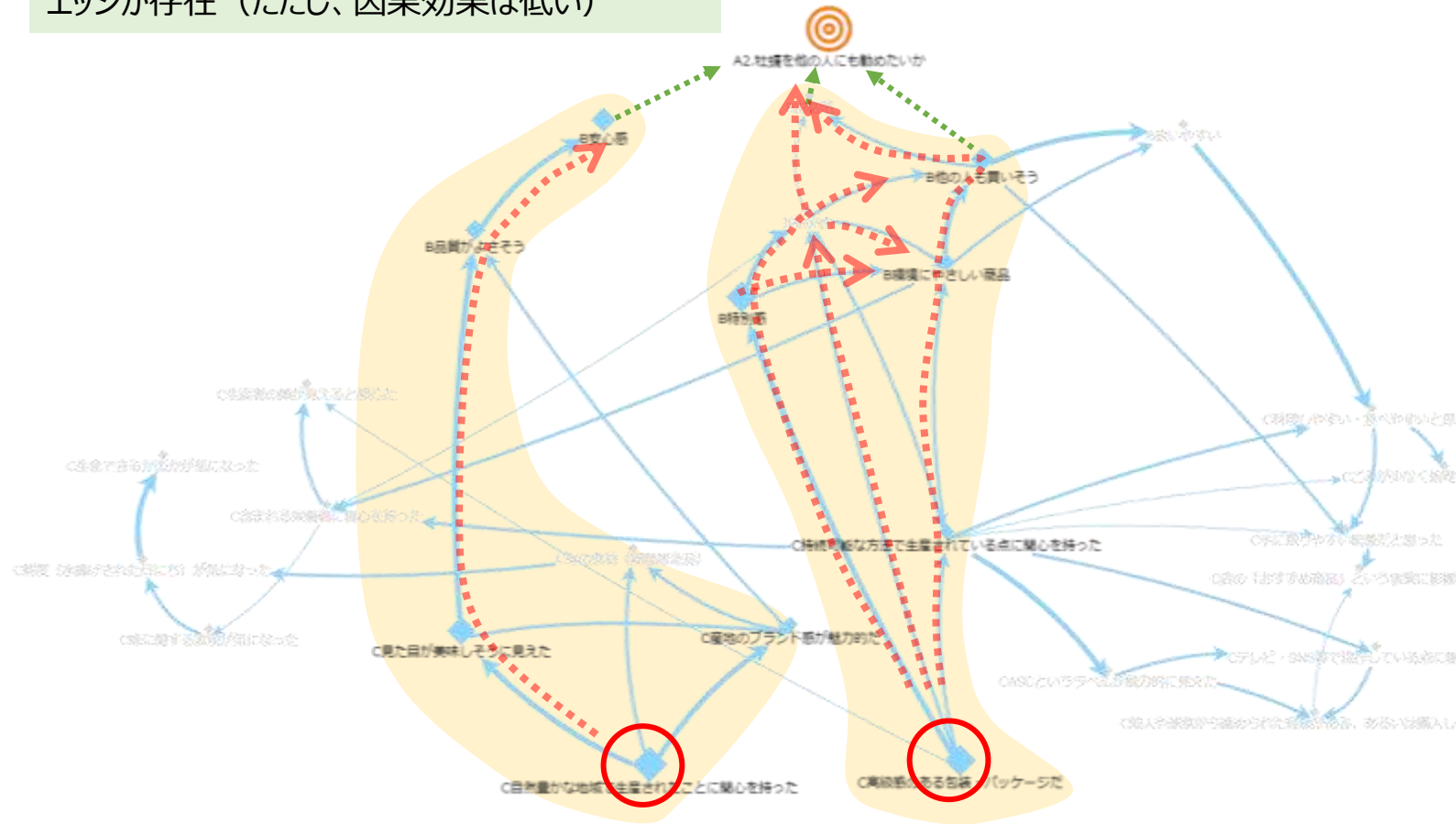
主要因子ランキング	
Bお徳感	0.467
C自然豊かな地域で生産されたことに関心を持った	0.448
C見た目が美味しそうに見える	0.427
C高級感のある包装・パッケージだ	0.371
B特別感	0.364
B他の人も買いそう	0.29
B品質がよさそう	0.272
B安心感	0.264
B扱いやすい	0.226
C持続可能な方法で生産されている点に関心を持った	0.164

- カキの購買意欲に影響を与える最も大きな要素は、中間因子の「お徳感」であった
- 説明変数群の中で最も影響の大きい因子は「**自然豊かな地域で生産されたこと**」であり、これは「見た目が美味しそうに見えるか」に直接影響を与えていた。
- 「**高級感のある包装・パッケージ**」も大きな影響を与える因子であり、「自然豊かな地域での生産」と併せて、**因果構造の根本要因にあり、有効な介入点になり得る**と考えられた。

評価結果（カキを他の人に勧めたいか）

表示エッジ削減のため非表示となっているが、「安心感」「お得感」「他の人も買いそう」から、有効エッジが存在（ただし、因果効果は低い）

中間因子群
説明変数群



主要因子ランキング	
C自然豊かな地域で生産されたことに興味を持った	0.461
C高級感のある包装・パッケージだ	0.412
B特別感	0.407
C見た目が美味しそうに見えた	0.367
B安心感	0.3
B他の人も買いそう	0.289
B品質がよさそう	0.253
B環境にやさしい商品	0.175
C持続可能な方法で生産されている点に関心を持った	0.174
C産地のブランド感が魅力的だ	0.173

- 購買意欲と類似した因果構造であった
- 説明変数群の中で最も影響の大きい因子は「**自然豊かな地域で生産されたこと**」であり、「**高級感のある包装・パッケージ**」が続いた。
- 購買意欲と異なる点は、「お得感」が及ぼす影響は小さく、「特別感」が重視される点であった。
- 購買意欲と併せて考えると、「自然豊かな地域での生産」と「高級感のある包装」は、**因果構造の根本要因にあり、有効な介入点になり得る**と考えられた。

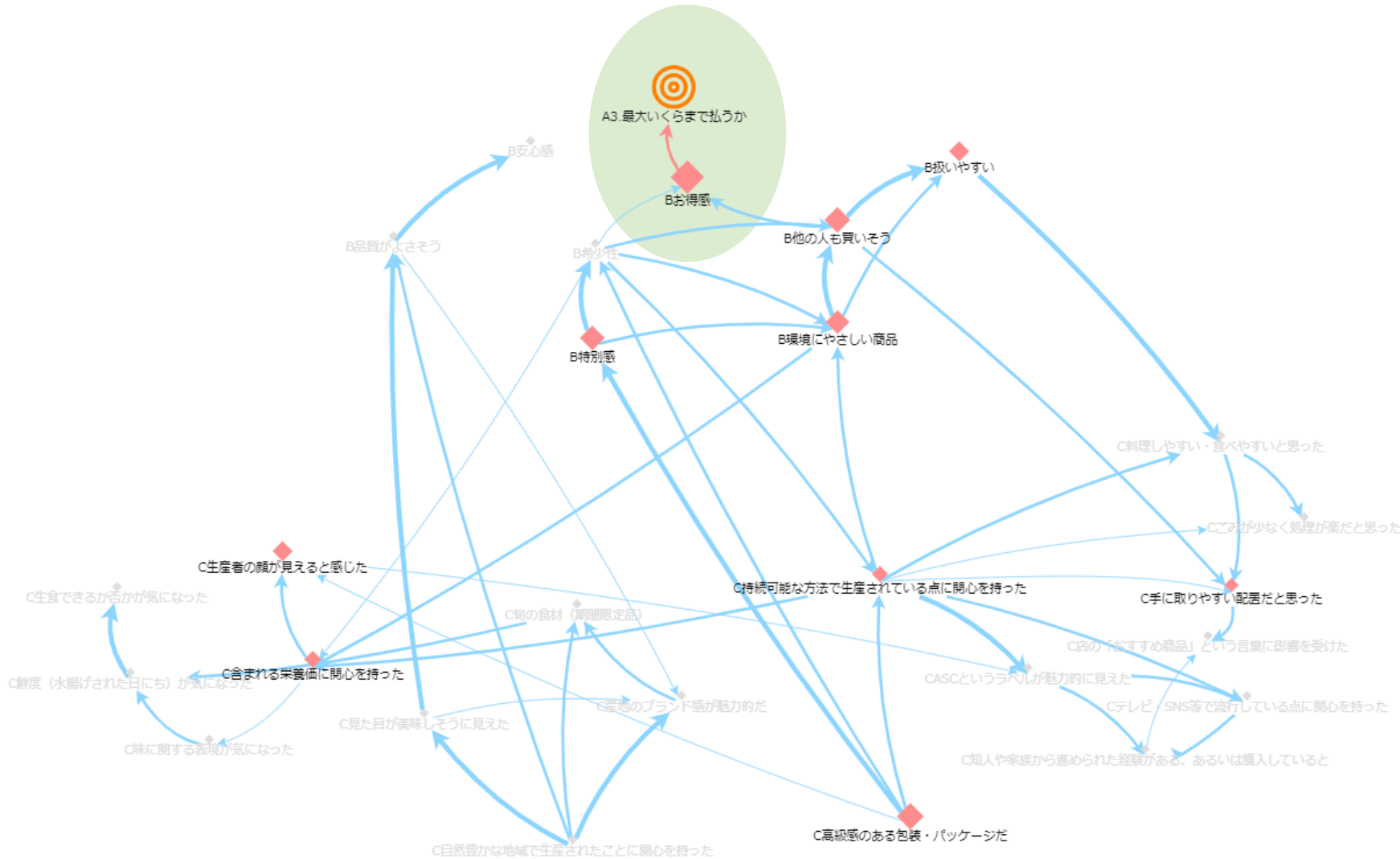
45（表示エッジ数） / 79（有効エッジ数）

評価結果（ASCのカキの支払い最大額）

Q3-1. **ASC認証**が付与された牡蠣を購入する場合、
標準的な販売価格を398円とすると、いくらまでなら支払いますか？

		n	平均値
全体		2000	453.01
性別	男性	1410	457.91
	女性	590	441.30
年代	20代	53	699.28
	30代	152	429.41
	40代	396	435.09
	50代	643	460.82
	60代	558	442.02
	70代	198	446.66

評価結果（いくらまで払うか）



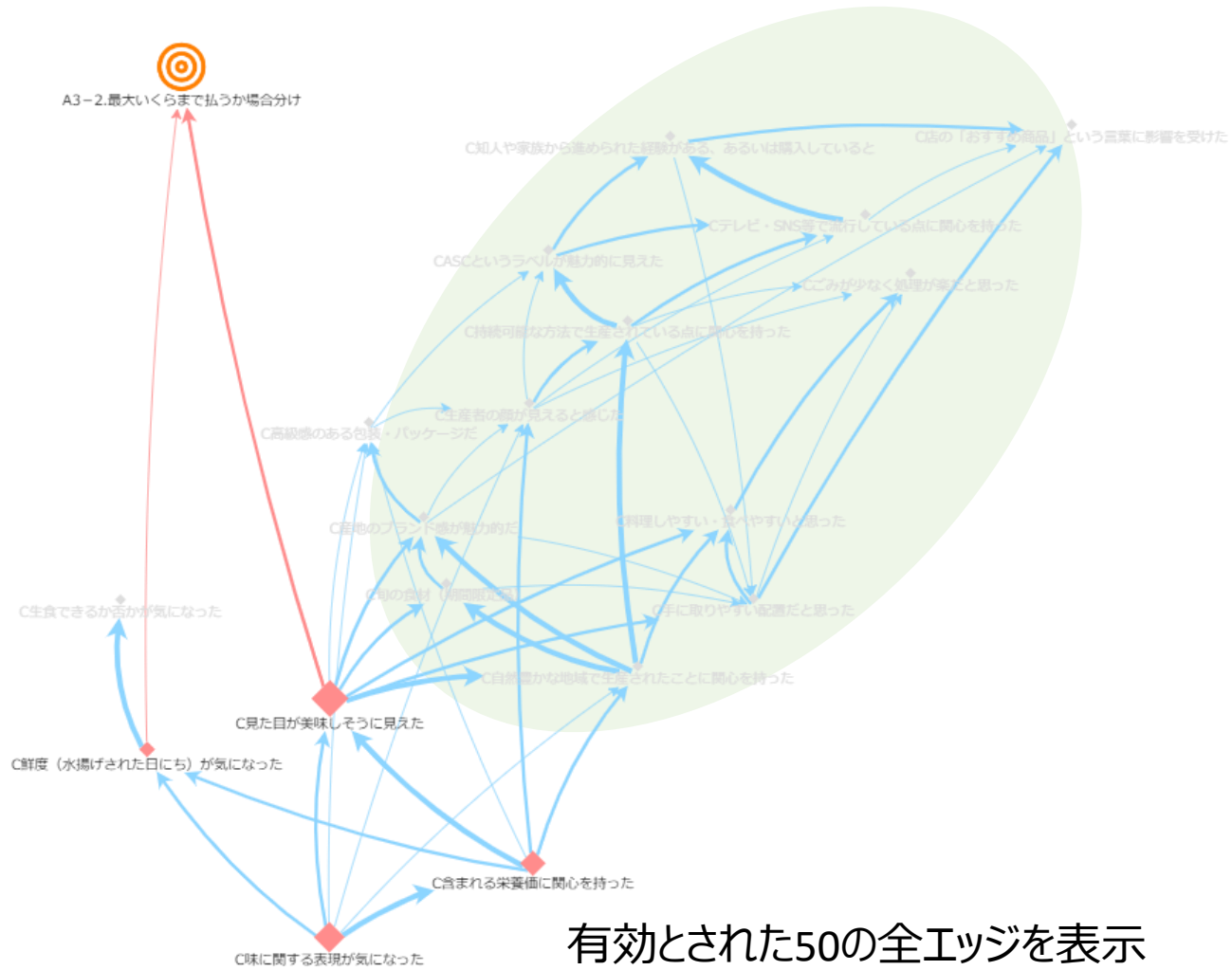
- 全ての因果関係が「お得感」を通して支払い意思額に影響し、マイナスの因果効果となった。
- 支払い意思については、自由回答型式としたため、連続値であった。
- 分散の大きさを考慮し、「499円以上を3」「399 – 498円を2」「398円以下を1」とスコア化し、改めて分析を試みたが、結果はほとんど変化しなかった。

検証のため、中間因子を除外して再分析

- 「お得感」が全体の因果関係に影響を与えている可能性があるため、**中間因子群を全て削除した状態で再分析**（3ランク分けバージョン）



- 前ページと同様に、消費者はどのような情報を受け取ったとしても、**能動的に追加的支払いを行う意思は薄い**ことが示唆された。
- 消費者に対して直接介入**することで、「生物多様性・自然資本に対して影響の小さい製品（ここでは牡蠣）を高単価で選択してもらう」という**介入効果が得られる期待値は低い**と考えられる。

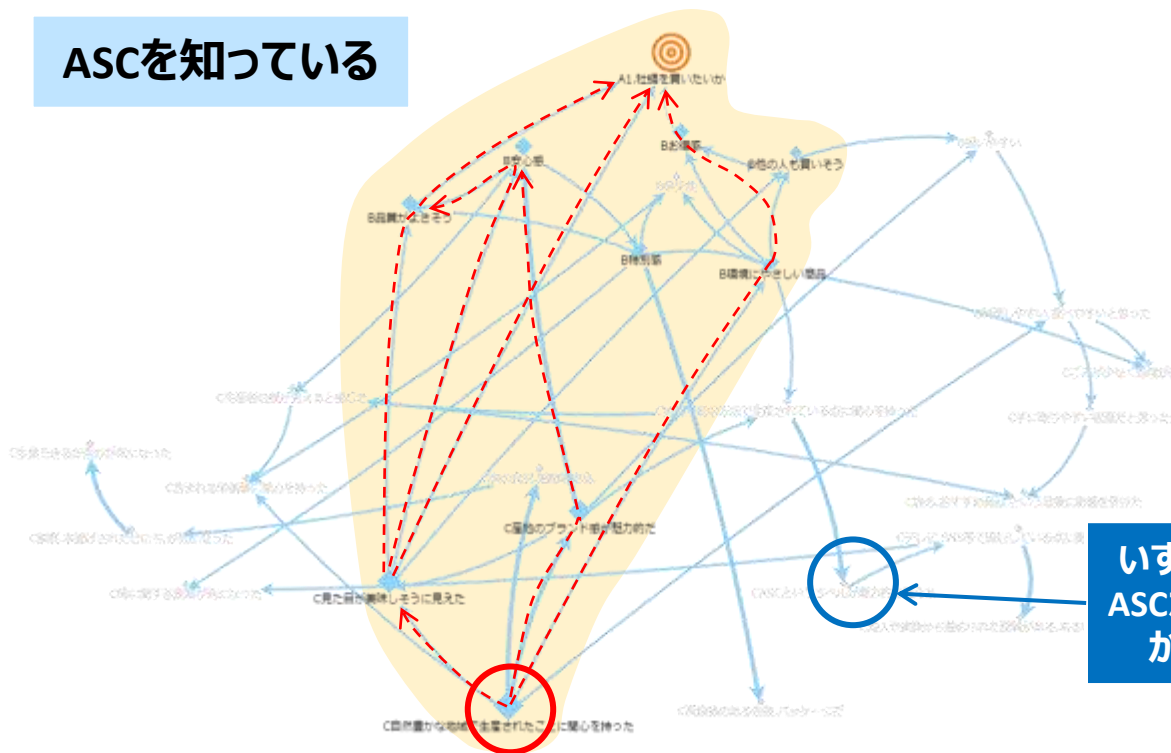


- 牡蠣の購買意欲には、以下の因果関係があることが示唆された。
 - 自然豊かな地域で生産されたこと ⇒ 見た目が美味しそう、品質がよさそう、安心感 ⇒ 購買意欲
 - 高級感あるパッケージ ⇒ 特別感 ⇒ お得感 ⇒ 購買意欲
- 牡蠣の購買意欲に対して、ASCラベルや持続可能な生産方法、産地ブランド、SNSや周囲の人からの集団影響、扱いやすさ、栄養価、生産者の写真などは影響を与えていなかった。
- 牡蠣を他の人に勧めたいか、という問いについては、環境配慮に関する要素が追加されたが、下記の購買意欲に対して集団影響はあまり因果関係が存在しないという結果が得られたため、介入点としての効果は薄いと考えられる。
- 支払意思額と各変数の関係性からは、「お得感」のみが影響していた。消費者は「高品質な商品を安く変える事」を重視していることが明確に現れた内容であり、介入先を消費者とすることは施策効果の期待値が低いと考えられる。

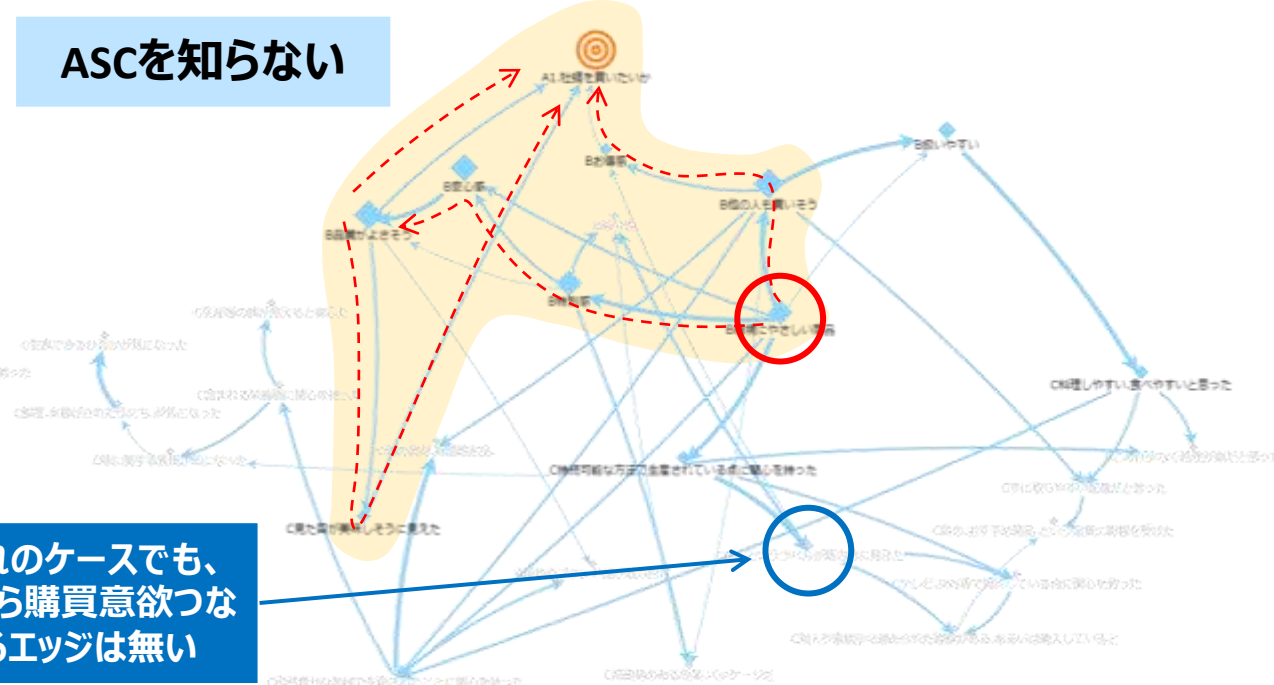
セグメント分け分析

セグメント分け結果（ASCの認知の有無）

ASCを知っている



ASCを知らない



いずれのケースでも、ASCから購買意欲つながるエッジは無い

- ASC認知者は、「自然豊かな地域等への関心」が購買意欲に与える影響が強かった。
- ASC認知者であっても「ASCのラベルが魅力的に思えた」からの影響は小さかった。
- 次ページに示す通り、中間因子（B）だけでなく、説明変数（C：客観的情報）から強い影響を受けている（高い関心を寄せている）傾向が見られた。
- ASCを知っている人に関しては、客観的情報の中でも、自然豊かな地域で得られた商品であることを示すことが、効果が期待できる介入手法であると考えられる。

- 次ページに示す通り、ASCを知らない人は、中間因子（B：直感・主観に近い）に影響を受けやすい傾向にある。
- 中間因子の中でも、「他の人も買いそう（社会的影響）」や「品質がよさそう」、「安心感」、「特別感」が強い影響因子であるとの結果が得られたが、「環境にやさしい商品」が因果構造のスタート地点（真因）にあることが分かった。

セグメント分け結果（ASCの認知の有無）

主要因子ランキング

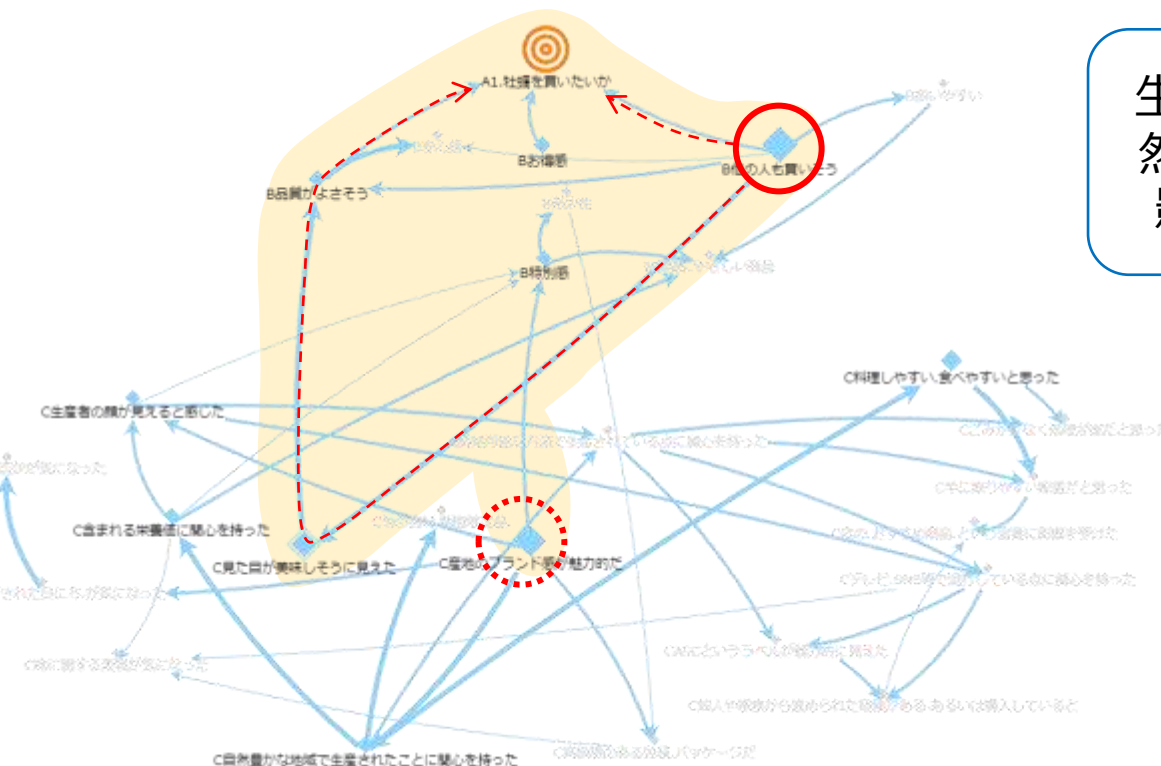
ASCを知っている		ASCを知らなかった。	
C自然豊かな地域で生産されたことに 関心を持った	0.487	B他の人も買いそう	0.393
C見た目が美味しそうに見えた	0.357	B品質がよさそう	0.388
C産地のブランド感が魅力的だ	0.328	B安心感	0.358
B安心感	0.236	B特別感	0.336
B品質がよさそう	0.205	B環境にやさしい商品	0.322
Bお得感	0.181	B扱いやすい	0.234
B環境にやさしい商品	0.096	C料理しやすい.食べやすいと 思った	0.191
B特別感	0.087	C持続可能な方法で生産され ている点に関心を持った	0.185
B他の人も買いそう	0.083	C見た目が美味しそうに見え た	0.179
		Bお得感	0.169

【分析対象サンプル】 ASCの認知度

		n	良く知っていた	ある程度知っていた	名前は聞いたことがあった	全く知らなかった
全体		2000	1.6	8.5	18.3	71.7
性別	男性	1410	1.9	9.4	17.8	70.9
	女性	590	0.8	6.3	19.3	73.6
年代	20代	53	3.8	15.1	15.1	66.0
	30代	152	3.3	11.8	14.5	70.4
	40代	396	2.0	6.8	16.9	74.2
	50代	643	0.8	8.2	17.7	73.3
	60代	558	2.0	7.9	17.9	72.2
	70代	198	0.5	9.6	27.3	62.6

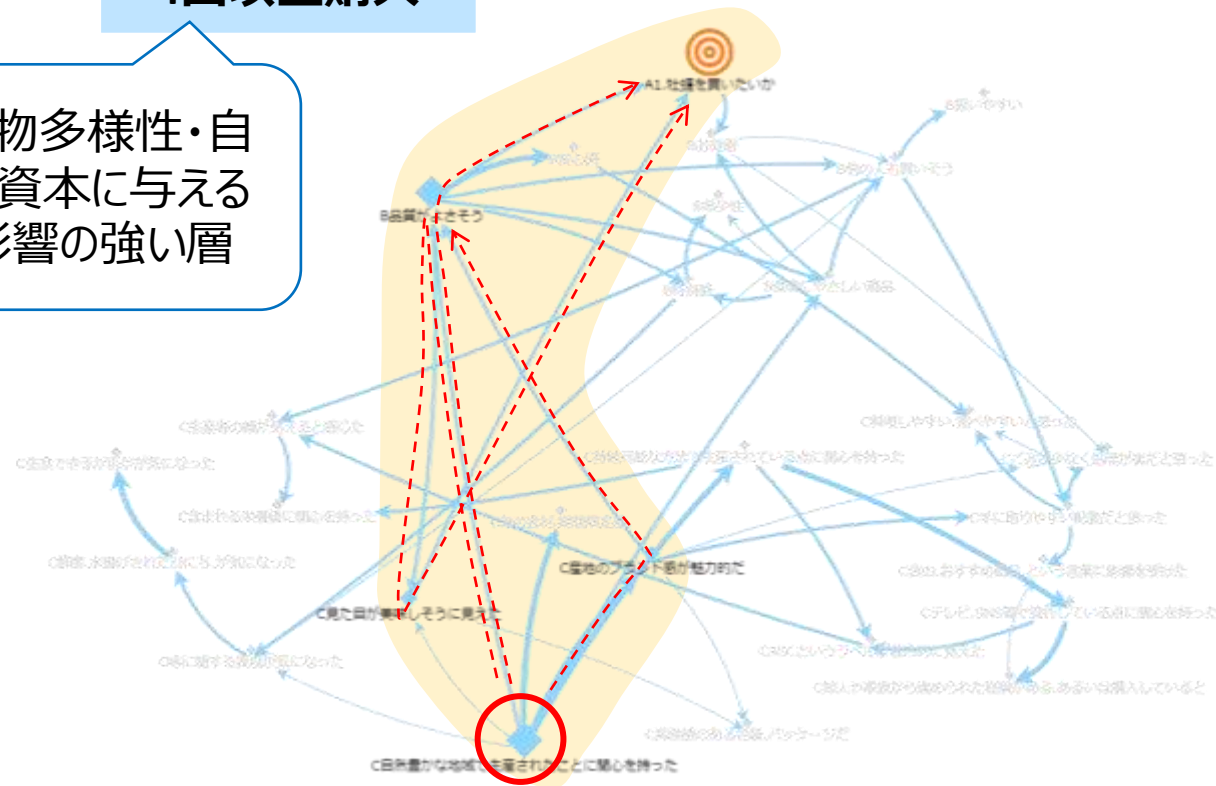
セグメント分け結果（1年の購入回数）

1～3回購入



4回以上購入

生物多様性・自然資本に与える影響の強い層



- 年間1～3回購入するとした回答者は、「**他の人が買いそう**」に最も影響を受ける結果となった。これは、「**社会的要因**」であると同時に、「**見た目が美味しそう**」や「**品質がよさそう**」に影響を与えるという**因果構造**が見られた。
- 次いで、「産地のブランド感」「見た目が美味しそう」「料理がしやすいそう」が強い影響を与えるという結果となった。

- 牡蠣の購入頻度の多い回答者は、購入頻度の低い回答者よりも、生物多様性・自然資本に与える影響が強く、**介入効果が強い**と考えられる。
- 「**自然豊かな地域で生産されたこと**」が**因果構造のスタート地点**にあり、これが「**品質がよさそう**」や「**産地のブランド感**」に影響を与え、購入意欲に影響を与えていることが分かった。
- **生産地の情報（写真等）**を通して、牡蠣そのものに関するポジティブな情報を付与することが、効果的な介入策であると考えられる。

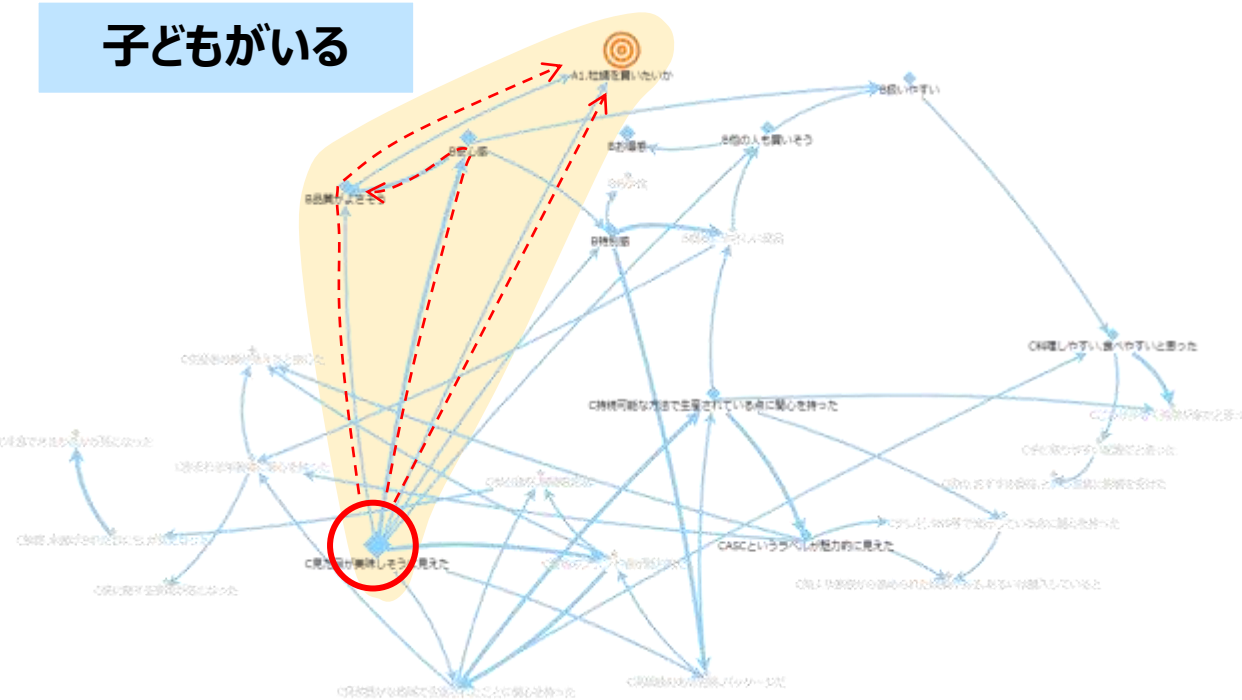
セグメント分け結果（1年の購入回数）

主要因子ランキング

年に1-3回店で購入		年に4回以上店で購入	
B他の人も買いそう	0.533	C自然豊かな地域で生産されたことに関心を持った	0.443
C産地のブランド感が魅力的だ	0.455	B品質がよさそう	0.415
C見た目が美味しそうに見えた	0.35	C見た目が美味しそうに見えた	0.28
C料理しやすい.食べやすいと思った	0.291	C産地のブランド感が魅力的だ	0.262
B品質がよさそう	0.225		
C自然豊かな地域で生産されたことに関心を持った	0.221		
Bお得感	0.215		
B特別感	0.194		
C含まれる栄養価に関心を持った	0.183		
C生産者の顔が見えると感じた	0.181		

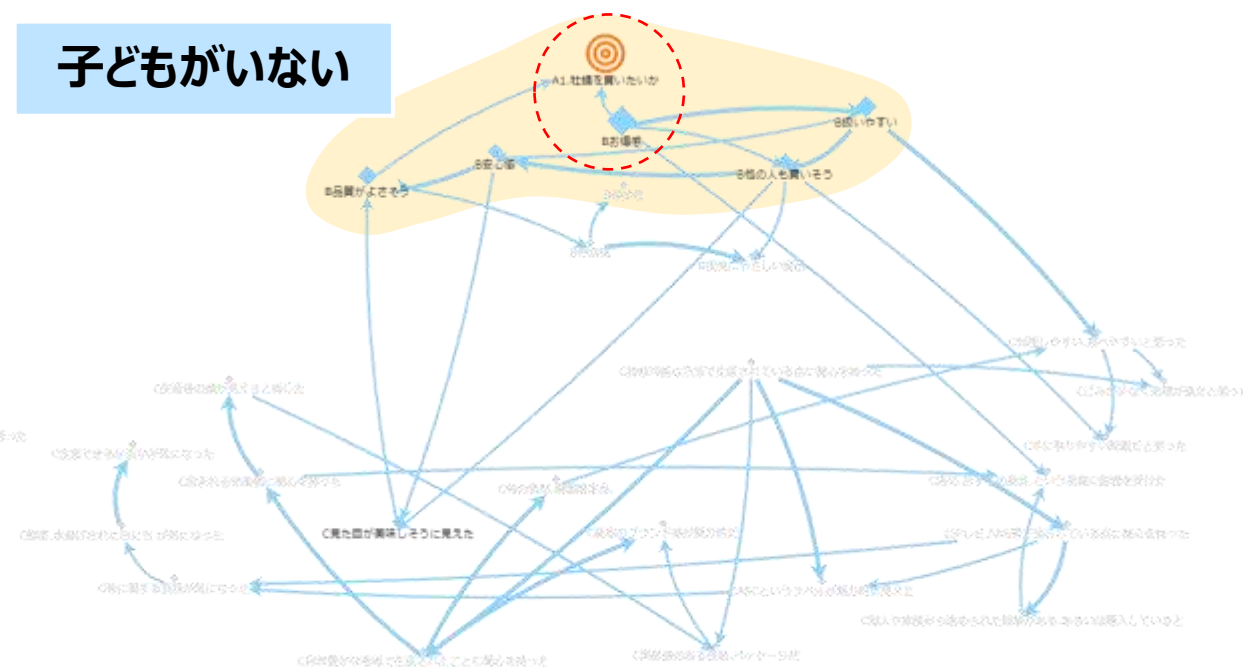
セグメント分け結果（子供の有無）

子どもがいる



- 子どもがいる回答者は、「お得感」よりも「**見た目が美味しそうに見えた**」と「**安心感**」が購入意欲に大きな影響を与えていた。
- 特に「**見た目が美味しそうに見えた**」は、「安心感」や「品質がよさそう」の**根本要因**にもなっていた。
- 主要因子ランキングのうち、**5位に「持続可能な方法で生産されている」**が入った。

子どもがいない



- 子どもがいない回答者は、「**お得感**」が購入意欲に大きな影響を与えていることが分かった。
- 次ページに示す通り、購入意欲に対して影響を与えているのは、**ほとんどが中間因子（B）であり、説明変数（C：客観情報）からの影響はほとんどなかった。**

セグメント分け結果（ASCの認知の有無）

主要因子ランキング

子供がいる		子供がいない	
C：見た目が美味しそうに見えた	0.573	B：お得感	0.463
B：安心感	0.262	B：扱いやすい	0.324
B：お得感	0.213	B：品質がよさそう	0.307
B：品質がよさそう	0.172	B：安心感	0.237
C：持続可能な方法で生産されている点に関心を持った	0.153	B：他の人も買いそう	0.231
B：特別感	0.136	C：見た目が美味しそうに見えた	0.189
B：扱いやすい	0.132		
B：他の人も買いそう	0.117		
C：料理しやすい.食べやすいと思った	0.089		
C：ASCというラベルが魅力的に見えた	0.065		

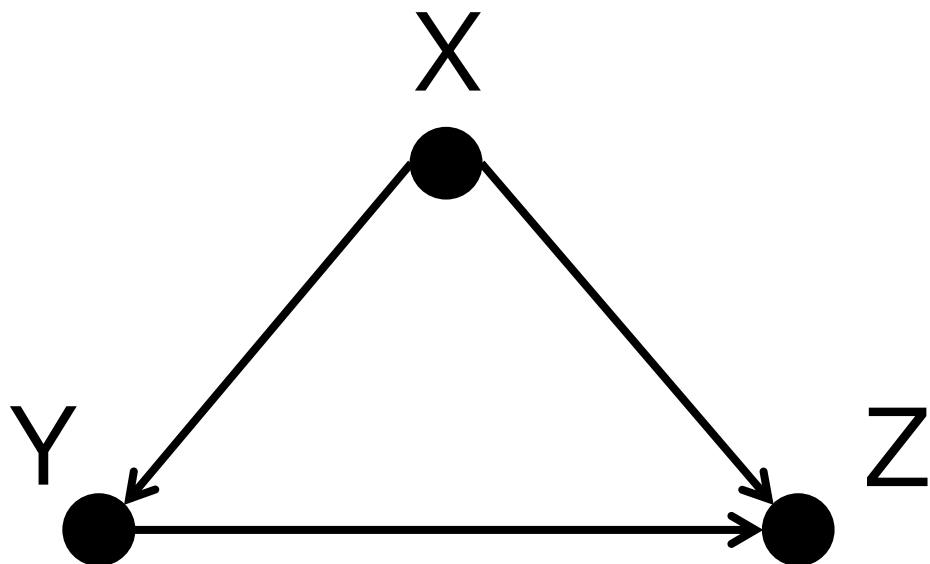


いであ株式会社

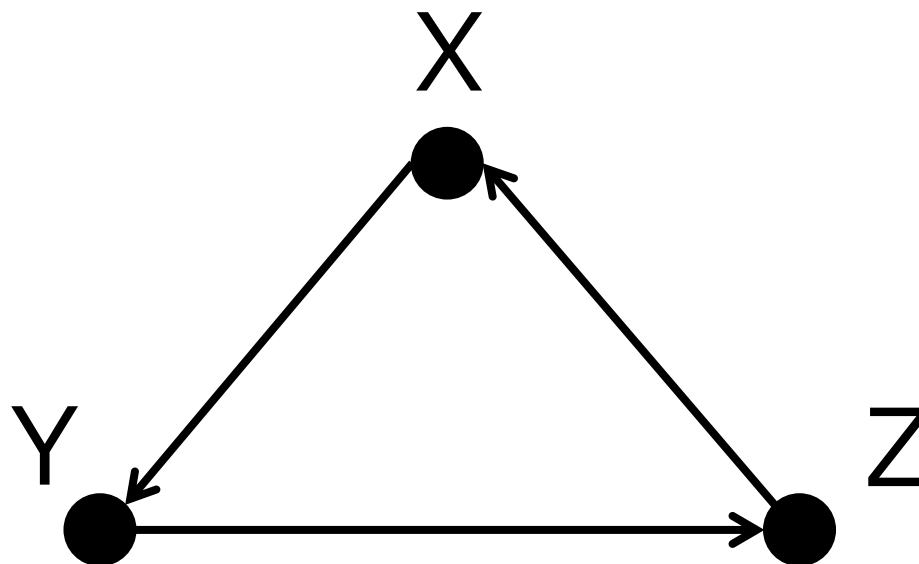


【参考】 因果分析に関する基礎理論

適 非巡回的グラフ

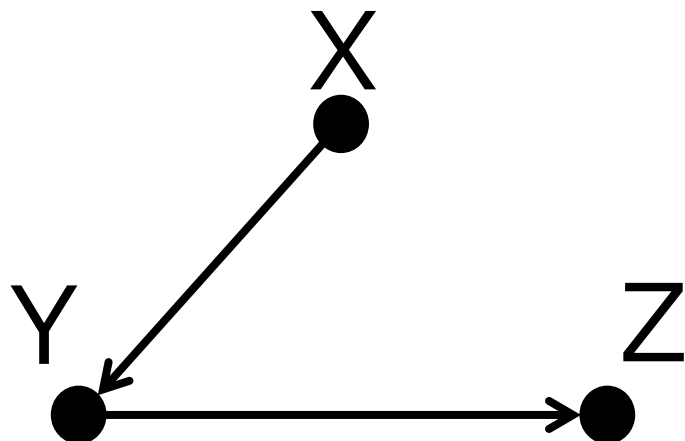


不適 巡回的グラフ

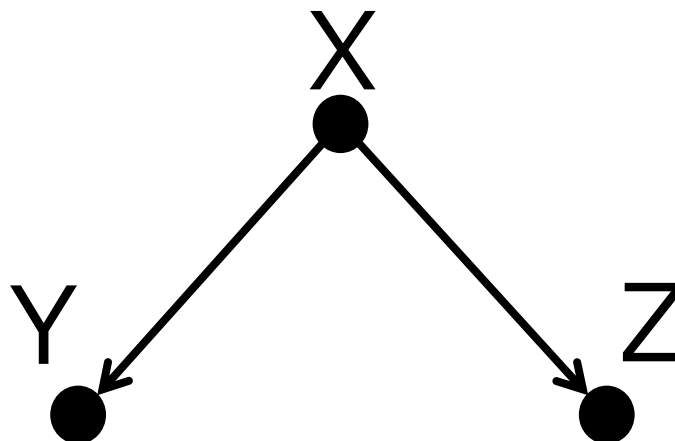


出典：「入門 統計的因果推論」（2019年初版）Judea Pearl著、落海浩訳、（株）朝倉書店発行 を参考にいであ株式会社作成

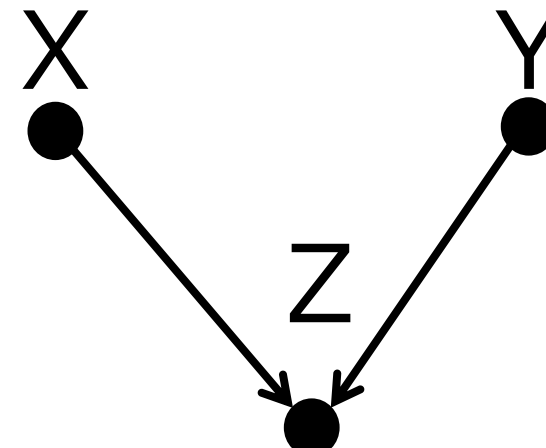
連鎖



分岐



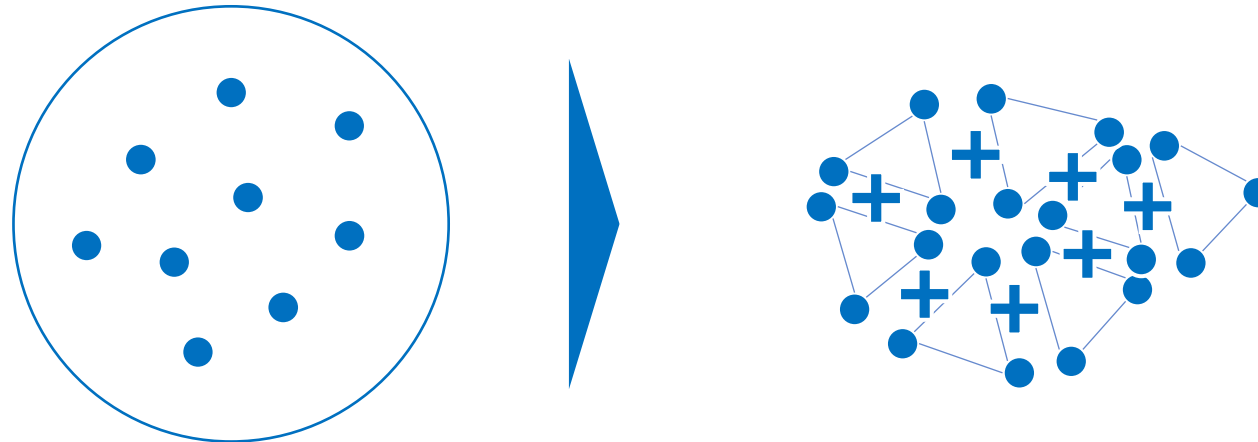
合流



■ 各経路における条件付き独立性

- 連鎖経路 : 2つの変数 X と Y の間に有向道がただひとつあり、変数の集合 Z がその道を遮断する場合、X と Y は Z の下で条件付き独立である
- 分岐経路 : 変数 X が Y と Z の共通の原因で、Y と Z の間の道がただひとつ存在する場合、X の下で Y と Z は条件付き独立である
- 合流経路 : 変数 Z が X と Y の間の合流点である。そして X と Y の間の道がただひとつである場合、X と Y は周辺独立であるが、Z の素で、また Z の子孫の下で条件付き従属である

- 『d分離』というツールを使うことで、複雑なグラフィカルモデルのうちどこに「誤り」があるか、検定できるようになる。
- ノンパラメトリックな手法であり、モデル全体として大域的に検証するのではなく、局所的に検証する。これにより、仮説のモデルが間違っているのが、具体的にどこの部分であるか判別し、修正できるようになる。
- これは、前述のように、モデル全体を大きな一つのモデルとして捉えるのではなく、いくつかのモデルの集合体と捉えることで可能となる。



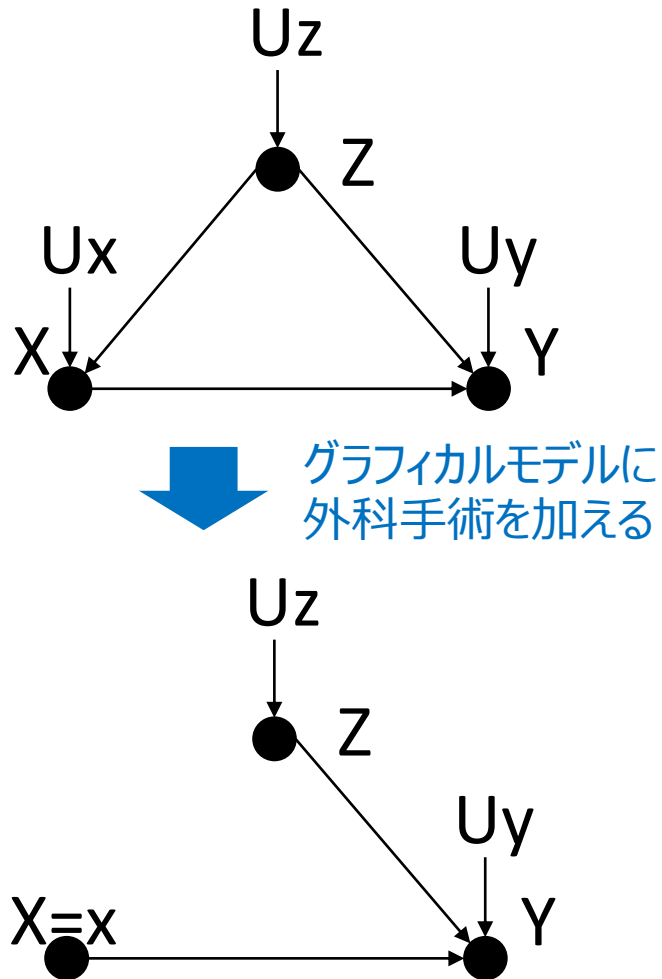
『d分離』の定義

道 p がノードの集合 Z によりブロックされていることは以下と同値である

1. p は連鎖 $A \rightarrow B \rightarrow C$ または分岐 $A \leftarrow B \rightarrow C$ を含む、中央のノード B が Z に含まれる（つまり B について条件付けしている）または、
2. p には合流 $A \rightarrow B \leftarrow C$ を含み、合流点 B が Z に含まれない。さらに、いかなる B の子孫も Z に含まれない。

Z がノード X と Y の間の全ての道をブロックする時、 Z が与えられた下で X と Y はd分離されている。すなわち Z が与えられた下で X と Y は条件付き独立である。

■ 構造的因果モデル (SCM)



- ✓ 変数間の関係が「線形」かつ「正規分布」にあると仮定する。
- ✓ ある基準を満たす場合
 - 非巡回的グラフであること
 - バックドア基準 (疑似パスをブロックし、新たに作らない)
 - フロントドア基準 (バックパスが存在しない事を明示できる)
- ✓ 基準を満たす変数を固定 = 介入 ($x = x$) する式 (調整化方程式) を作ることで、グラフィカルモデルに外科手術を施し、変数 x による因果効果、条件つき確率を推定できる。
- ✓ 以降は、「有限要素法」のように、トライアングルを積み重ねていくことで、影響を積分していく。
- ✓ ただし、対象とする変数は多くの変数により説明されるため、計算量が膨大になる。そこで、条件付け (フィルタリングされた) したデータを生成し、人工標本を得ることで、計算量を節約する。
 - このため、データは線形かつ正規分布に従うとすることが必要
 - AIが無ければ人工標本が得られない

因果関係が無いパスを排除し、因果関係が残る可能性のあるパス (矢印) のみを残すことが可能

■ 調整化方程式は以下の式で表される

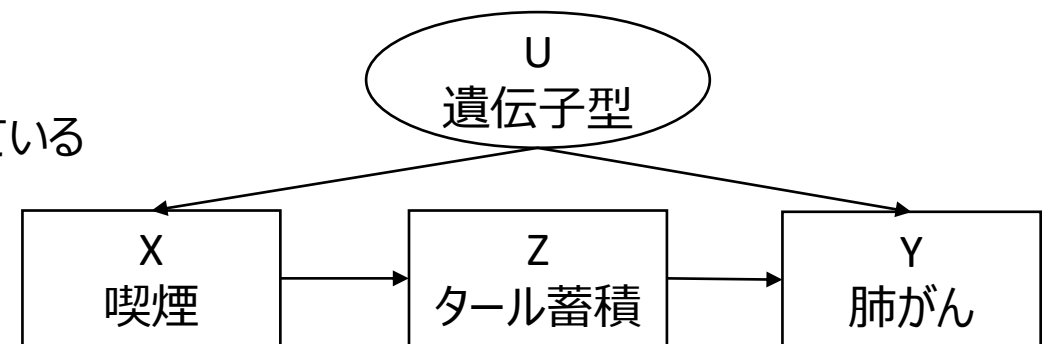
- 因果効果の式 : $P(Y=1 | do(X=1)) - P(Y=1 | do(X=0))$
- 調整化方程式 : $P(Y=y | do(X=x)) = \sum_z P(Y=y | X=x, Z=z) P(Z=z)$
- 『do』という見慣れない演算子を扱う。『do』は、Xをxに固定・介入するという意味である。

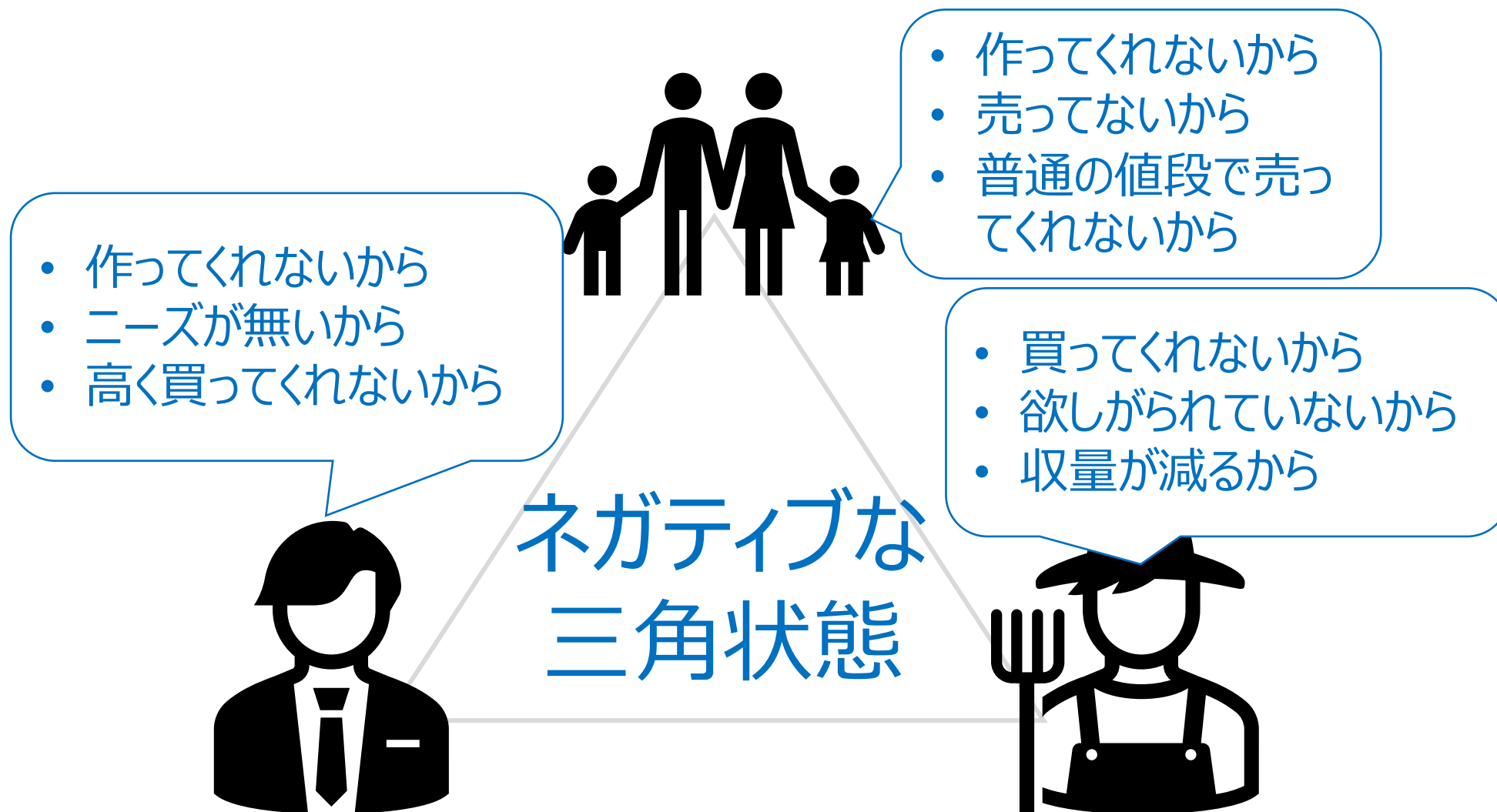
■ バックドア基準

- 非巡回的有向グラフGにおいて変数の順序対 (X,Y) が与えられたとき、変数の集合Zに含まれるいかなるノードもXの子孫ではなく、かつXとYの間の道でXに向かう矢線を含むようなものをZがブロックするとき、Zは (X,Y) についてバックドア基準を満たすという

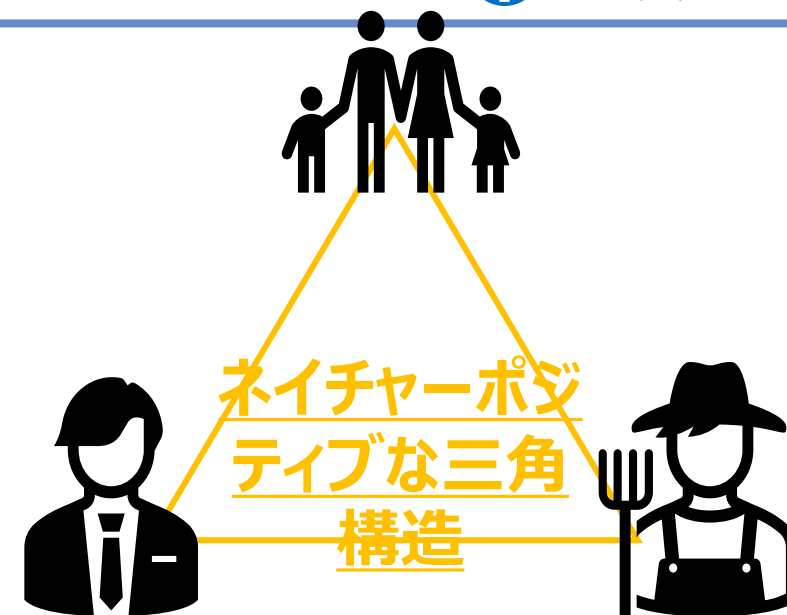
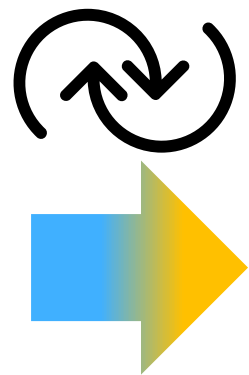
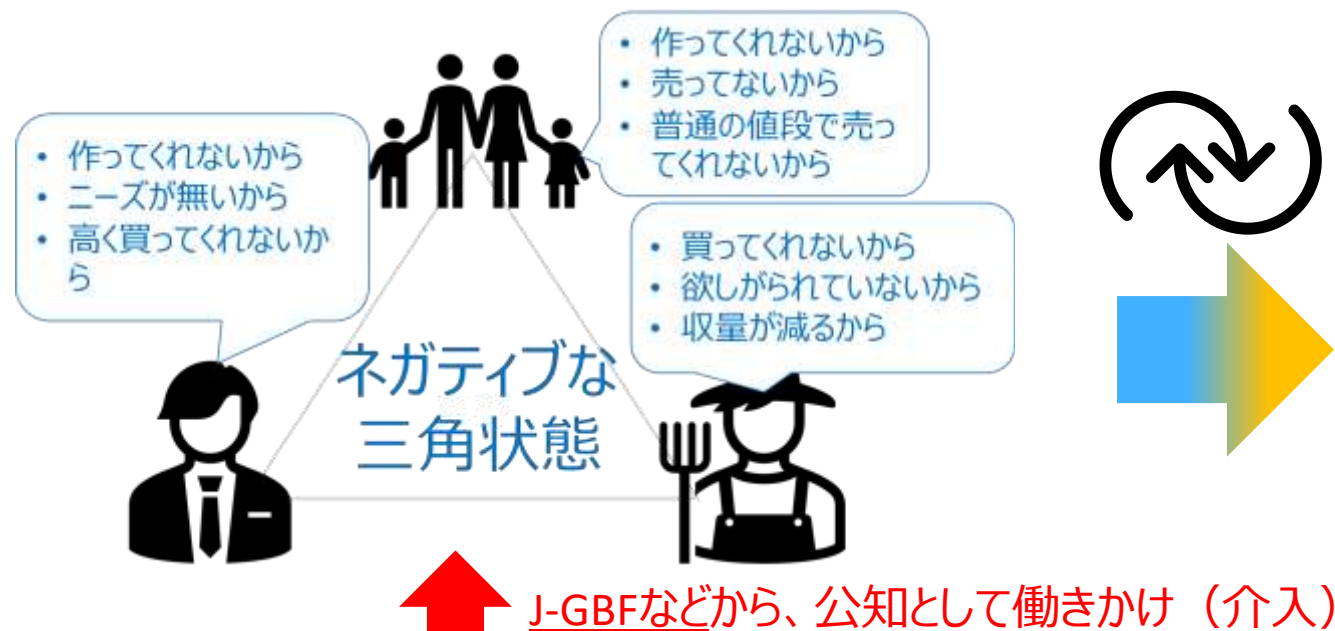
■ フロントドア基準

- 変数の集合Zが以下の条件を満たすとき、Zは順序対 (X,Y) についてフロントドア基準を満たす
 - ZはXからYへの有向道をすべてブロックする
 - XからZへのバックドアパスは存在しない
 - ZからYへのすべてのバックドアはXによりブロックされている





本業務の位置づけ



鳥の目

✓ 経済行動・生活行動においてベストプラクティスを蓄積
✓ ナレッジの社会全体への展開を本WGを通して設計

行動タイプごとのバリエーション、WGを産業界で実践・応用することで

虫の目

具体的な仮説検証、介入の「プロセスノウハウ」と「具体的な生物多様性配慮で売上が上がる施策」を得る

得られた知識を蓄積、社会の形式知に

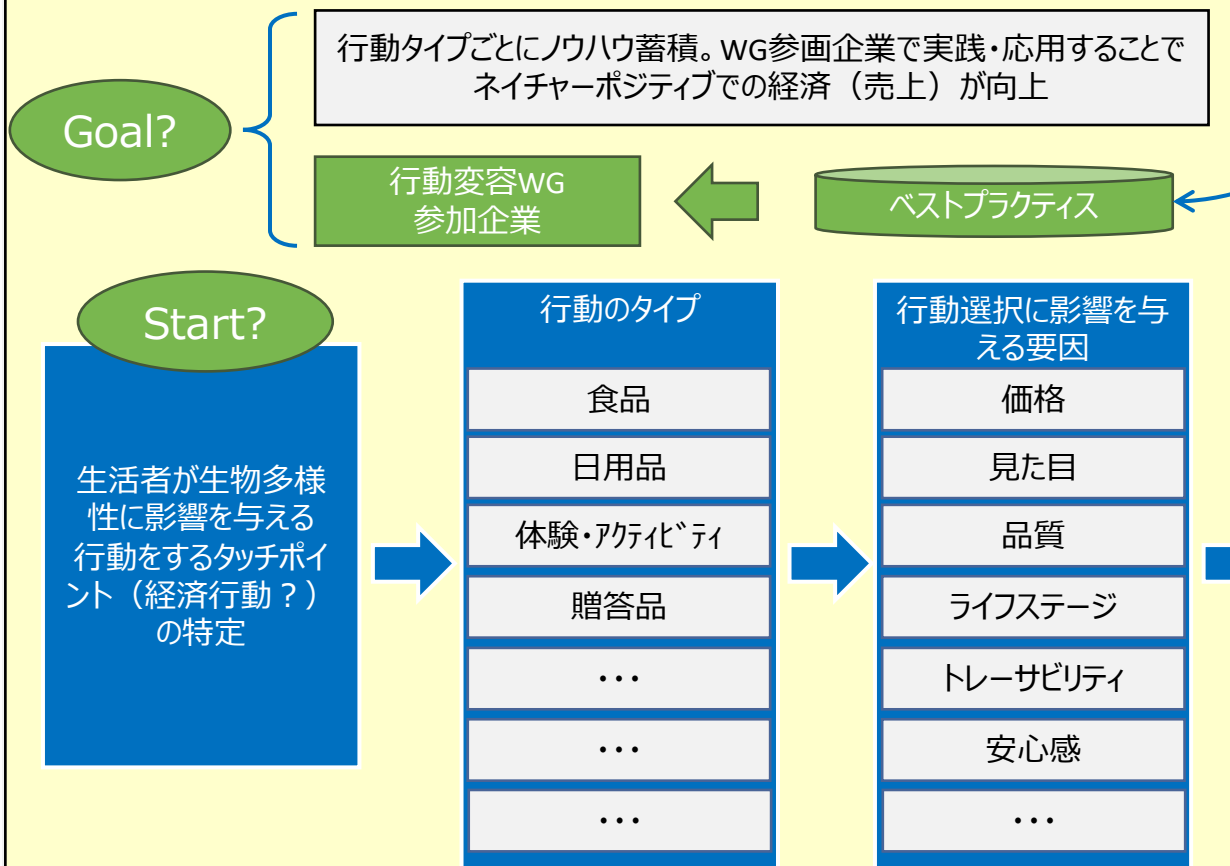
具体的な製品・サービスで試行（本業務：牡蠣）

- 目的は、市場におけるネガティブな三角状態の破壊。
- 虫の目（具体的な実証ケース）で得られた成果を鳥の目として社会知化し、三角形を転がし、破壊することでネイチャーポジティブな社会経済構造に変化させる。

得られた検証結果を蓄積し、社会知・ナレッジとして共有化

鳥の目

- ✓ 経済行動・生活行動においてベストプラクティスを蓄積
- ✓ ナレッジの社会全体への展開を本WGを通して設計



虫の目

具体的な仮説検証、介入の「プロセスノウハウ」と「具体的な生物多様性配慮で売上が上がる施策」を得る

