



気候変動下における四国の水資源政策決定支援システムの開発

那須 清吾 (高知工科大学)

資料 - 1

四国・吉野川流域
水問題



概要 四国および吉野川における水資源管理面での気候変動の適応策立案に資する定量的情報を提供するため、気候変動の影響を考慮した水循環、水利用、水環境の自然現象から社会現象に至る統合シミュレーションモデルの研究開発を行います。

対象地域 四国及び吉野川流域
実施体制 共同研究参画機関：東京大学
協力連携機関：四国水問題研究会(香川県、徳島県、愛媛県、高知県、国土交通省、中央省庁出先機関、民間団体、マスコミ等)

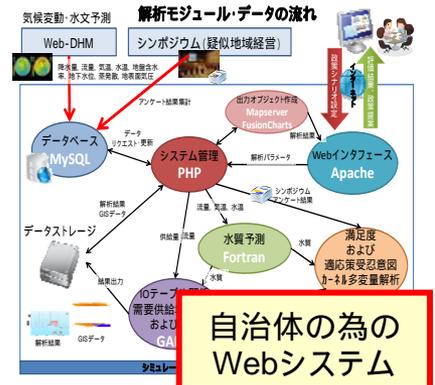
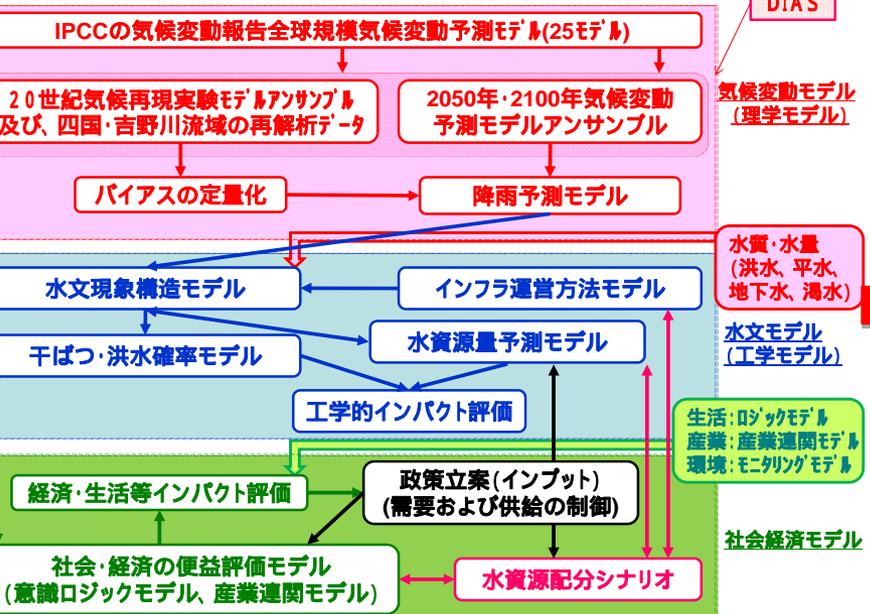
気候変動下における四国の水資源政策決定支援システムの進捗状況

気候変動の影響を考慮した水循環、水利用、水環境の自然現象から社会現象に至る**学術分野統合シミュレーションモデルの第一次モデル**、および、**行政と市民・利害関係者の相互理解と政策調整に基づいて実現する地域経営システム**のプロトタイプの構築は完了しており、今後3カ年で実用化研究を行う。

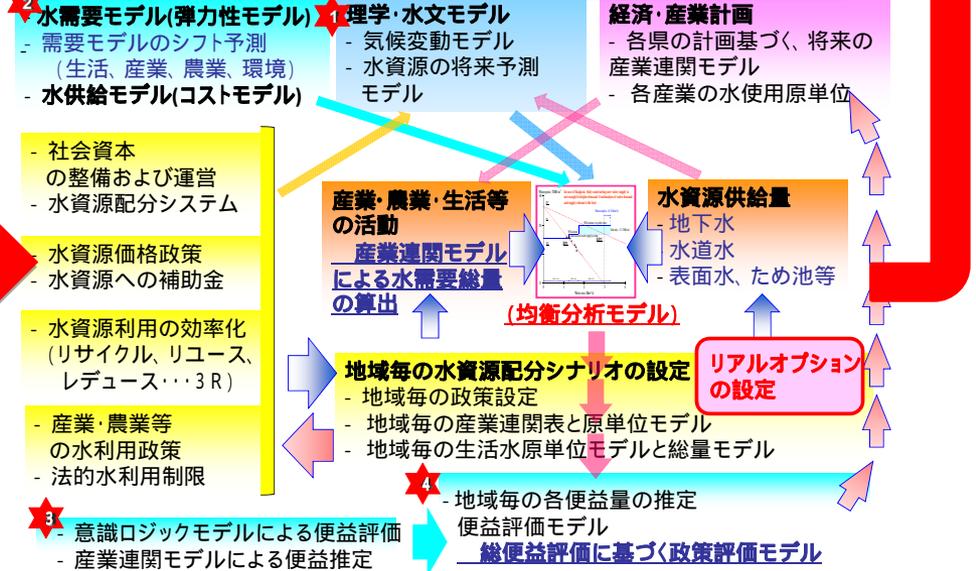
今後の研究の方向性

気候変動適応戦略イニシアチブ・気候変動適応研究推進プログラムの中では、最下流の「**テーマ3:適応シミュレーション技術の開発**」に特化して、**地方自治体の適応策の検討と実装を支援すべく、ウェブ上でのシミュレーションが出来るシステムを構築中**である。最新の気候変動予測モデルを導入し、新たな知見として得た市民の意識構造ロジックモデルに基づき、地方自治体と連携して社会シナリオに関する合意形成を進める。

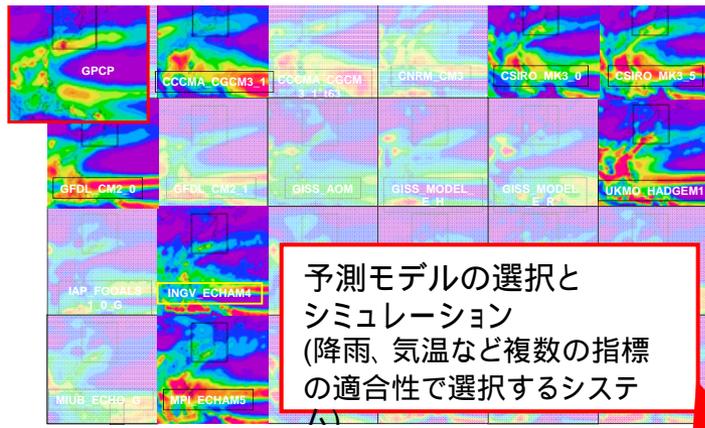
気候変動インパクトを予測する統合モデル



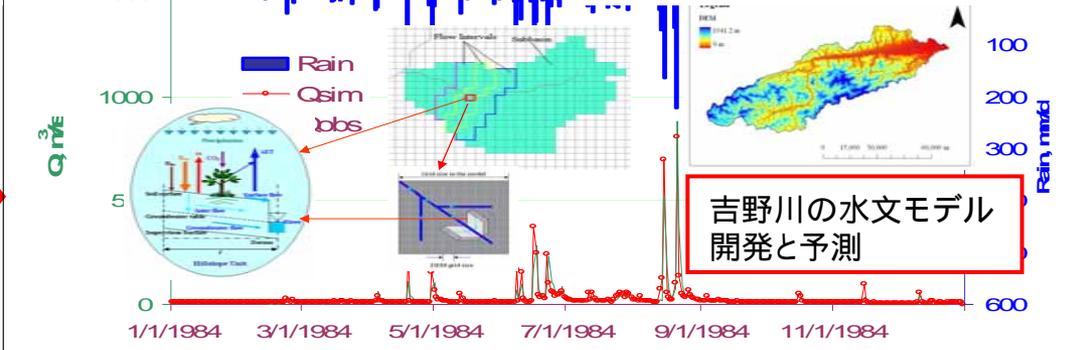
気候変動への適応策の「策定」 水資源の需要供給均衡分析に基づく政策評価システム



最新の気候変動モデルでダウンスケーリング



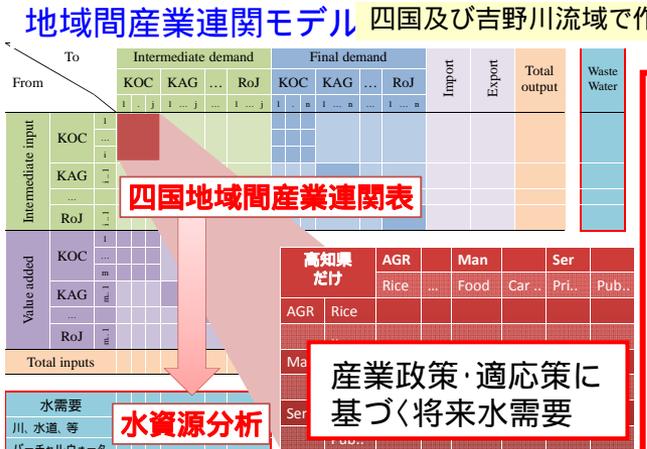
吉野川の洪水・干ばつ予測



年間降雨パターン予測と需要の関係分析

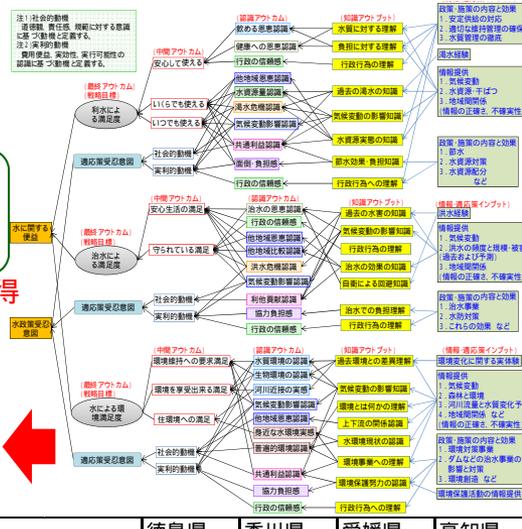
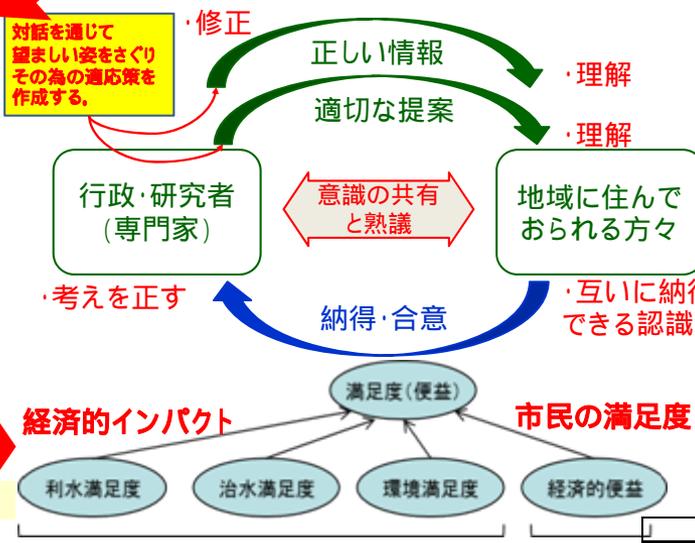


水需要量情報 産業連関分析で需要・政策効果を予測

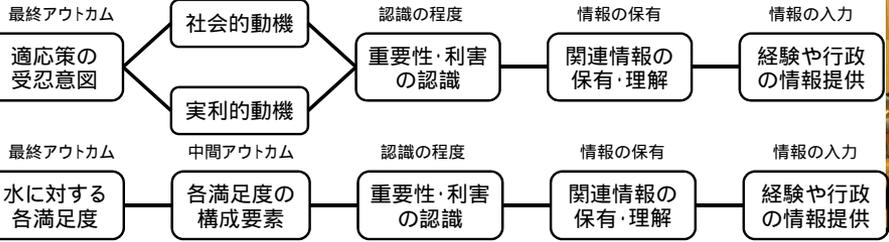


理解出来る情報の供給と合意

満足の意識構造ロジックモデル



シンポ等で地域経営を疑似的に再現 意識構造と意識レベルを分離する新たなカーネル法で、政策効果をより詳細に確認出来ることに。

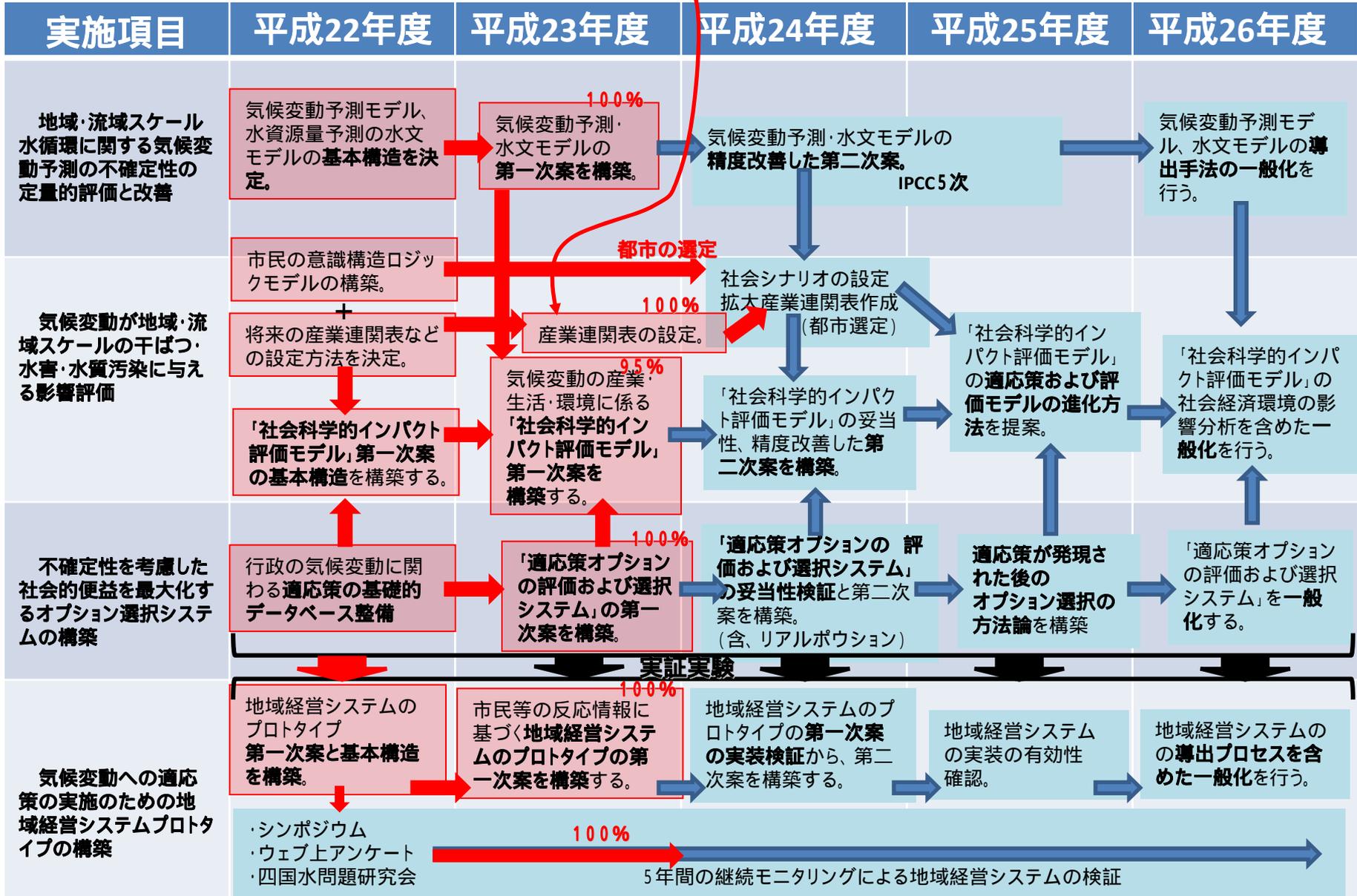


	徳島県	香川県	愛媛県	高知県	
シンポ	2010年	71人	40人	32人	70人
	2011年	25人	42人	55人	32人
Web等	2010年	215人	400人	199人	309人
	2011年	341人	339人	335人	338人



各年度の成果目標と進捗

4県産業連関表、四国地域間産業連関表、吉野川流域産業連関表

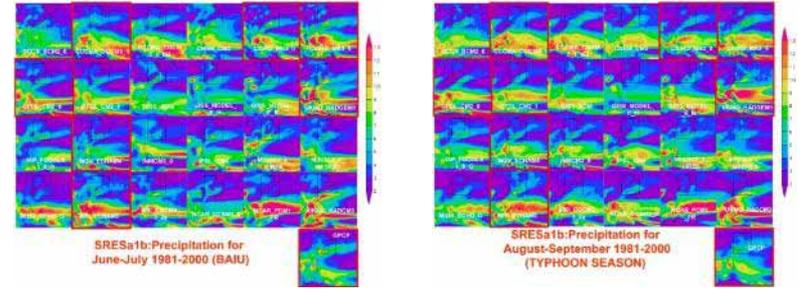
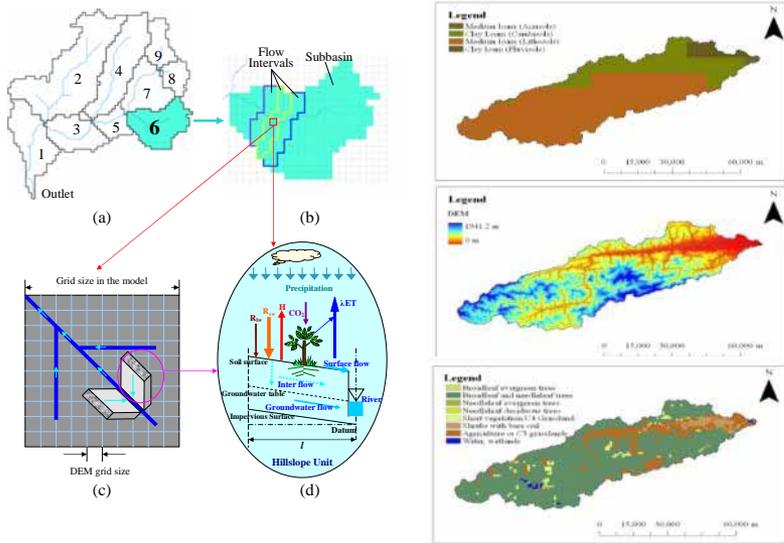


地域・流域スケール水循環に関する気候変動予測の不確定性の定量的評価と改善

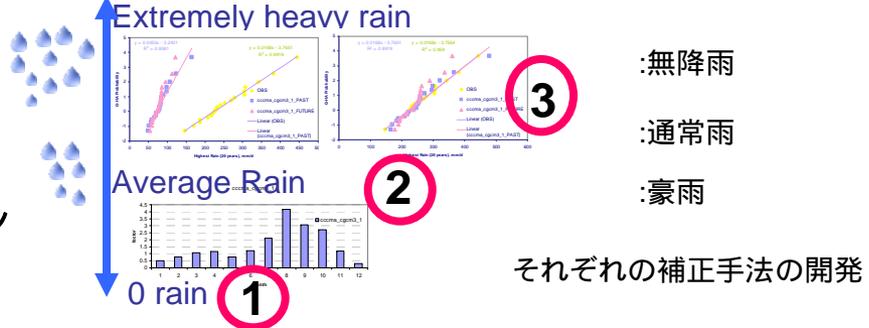
平成23年度までの成果

4. 気候変動予測実験モデル出力から適切なモデルを抽出する手法の確立 (左:梅雨時, 右:台風時)

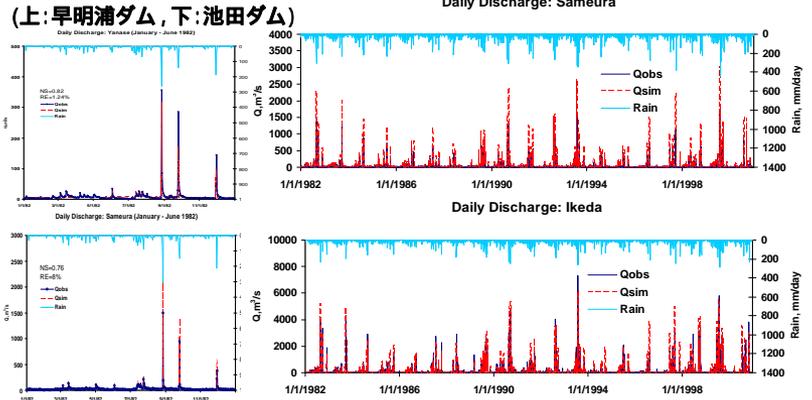
1. 分布型水・エネルギー収支分布型水循環モデル(WEB-DHM)の構築



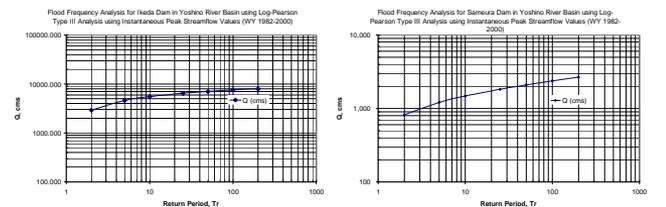
5. 気候変動予測実験モデル出力の降水のバイアス補正方法の検討



2. 1982年におけるモデルキャリブレーションと1982-2000年のシミュレーション



3. 1982-2000年のデータを用いた最大洪水の推定 (左:早明浦ダム, 右:池田ダム)



平成24年度の検討事項

- 平成23年度までに開発した気候変動予測実験モデル出力のバイアス補正手法の改良と確立
- ダム運用ルール of WEB-DHM への実装
- ダム運用ルールを実装したWEB-DHM にバイアス補正された気候変動予測実験モデル出力を入力し、将来の流量を計算

水資源量および変動量を予測する水文モデルの精度向上

気候変動が地域・流域スケールの干ばつ・水害・水質汚染に与える影響評価 水質モニタリング・予測

河川流量による土地利用の変化

Landsat
True Image
(Red-Green-Blue)

2006

NDVI

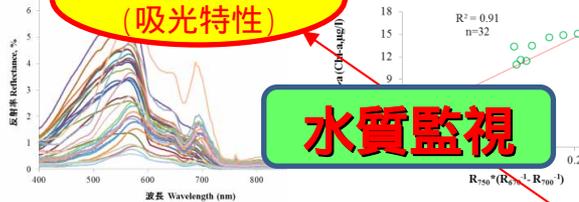
1985

吉野川 下流側

水質モニタリング

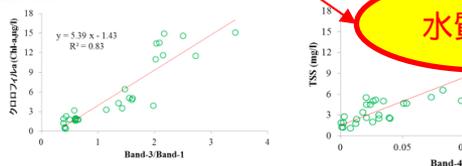


衛星画像
(吸光特性)



水質監視

Simulated ALOS
Satellite Data



水質観測

分布型水・エネルギー収支分布型水循環モデル (WEB-DHM)

水質予測モデル

(WQAM) 河川

$$\frac{\partial C_{phy}}{\partial t} = (\text{Algal Growth} - \text{Respiration} - \text{Non predatory mortality} - \text{Predation})$$

Dissolved Oxygen (DO)

$$DO = (\text{Photosynthesis by Algae} + \text{Plankton} + \text{Fish respiration} + \text{Detritus decomposition} + \text{DOM decomposition} + \text{Reaeration})$$

Dissolved Inorganic Nitrogen

$$DIN = (\text{Dissolved inorganic Nitrogen} + \text{decomposition})$$

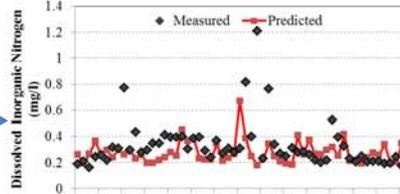
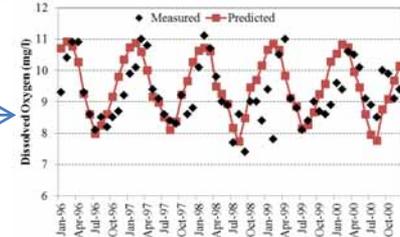
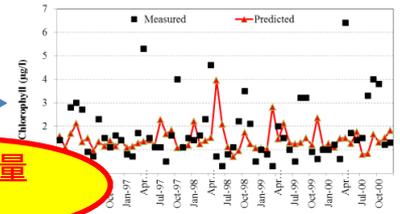
水質予測

平成24年度の検討事項

1. 水文モデルWeb-DHMへ統合の基礎検討。

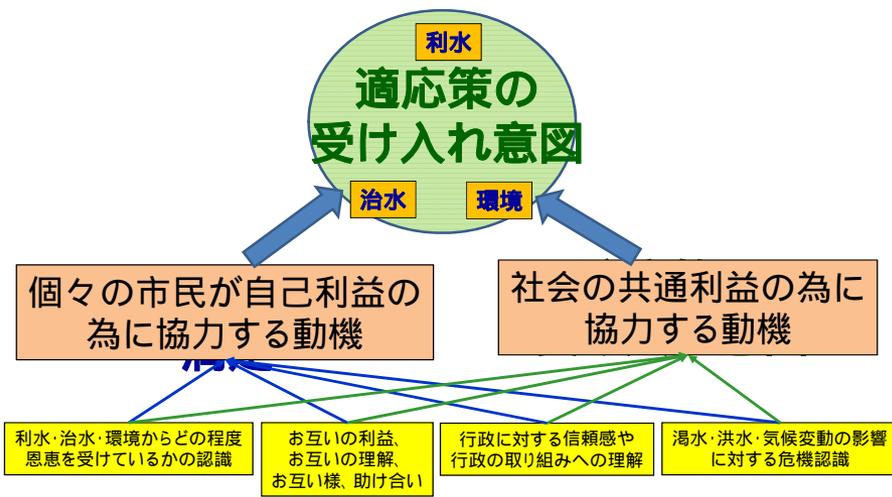
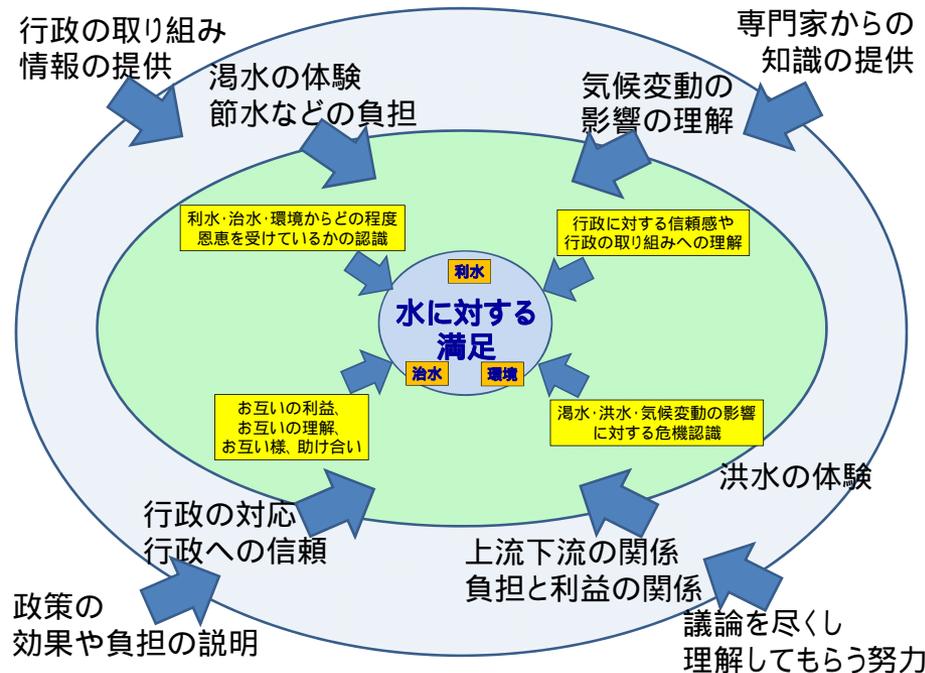
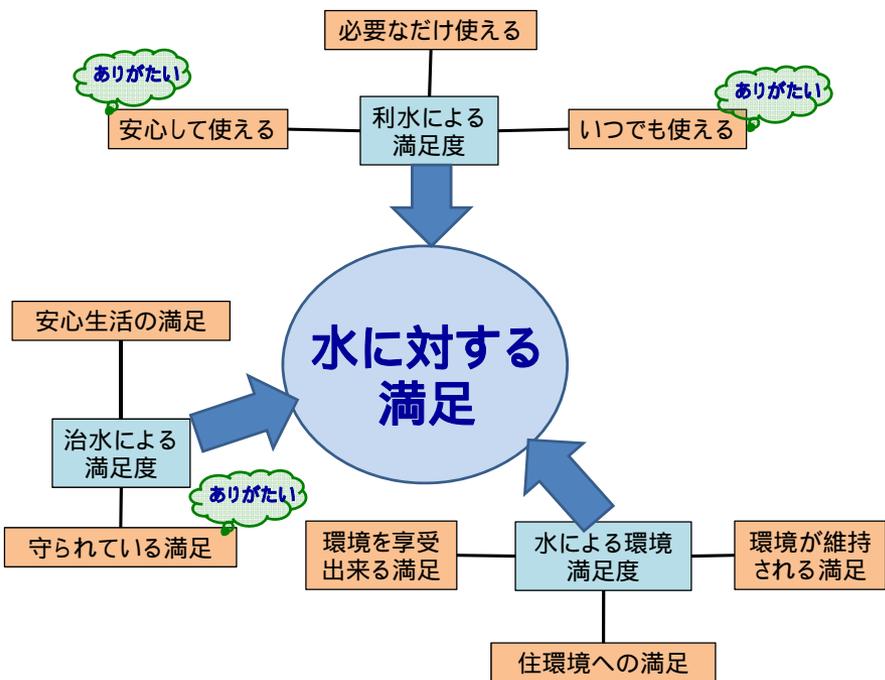


モデルキャリブレーション
早明浦ダム流域
(1996-2000)



河川流量
温度

気候変動が地域・流域スケールの干ばつ・水害・水質汚染に与える影響評価(満足度)



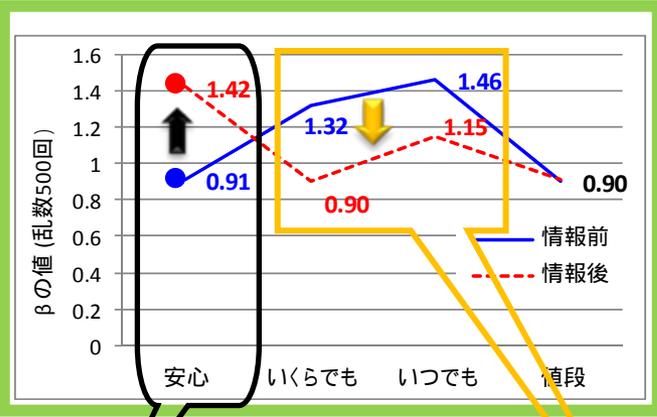
1. 行政・専門家の適応策の提案
2. 熟議の努力で、納得を得ていく

平成24年度の検討事項

1. 地域経営システムの構築を目指して、3年目となる本年度は本格的にシミュレーション結果を地域住民に情報提供し、モデルの妥当性を検証する3年間のマネジメントサイクルを開始します。
2. 分析においては、従来の重回帰分析の課題となっていた情報提供・政策効果発現の前後の比較分析において、人の意識構造(理解構造あるいは価値観構造)が変化したのか、意識レベルが変化したのかを確認することが出来なかった問題がありましたが、カーネル法を応用して意識構造と意識レベルを分離する方法論の適用性の検証など研究を継続します。

(参考1) 多変量解析にカーネル関数を適用

情報前後での意識構造の変化
を の変化として定義



線形の回帰式

$$y = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot x_m \quad \longrightarrow \quad y = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot k(x_i, x')$$

データ数: $i=1 \sim n$
変数: $m=1 \sim d$ ($d=4$)
パラメータ: β, λ
正則化項: $\alpha = (K + \lambda I_n)^{-1} y$

ここで、カーネルをデータの写像関数の内積だとすると

$$y = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot k(x_i, x') = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \phi(x_i)^T \cdot \phi(x')$$

ガウスを利用

$$k(x, x') = \exp(-\beta \|x - x'\|^2)$$

また、変数が4つあるので $x_i = (s_i, q_i, a_i, c_i)$

$$\sum_{m=1}^4 \phi_m(x_i) = (\phi_1(s), \phi_2(q), \phi_3(a), \phi_4(c))$$

特徴抽出された空間
における線形回帰

$$f(x) = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot \phi_m(x)$$

情報提供後 の値が大きくなっており、
分散が小さく細く尖った分布に変化している。

の値が小さくなっており、
分散の大きな幅広い分布に変化。

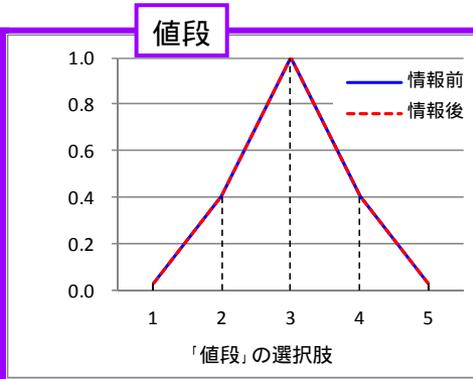
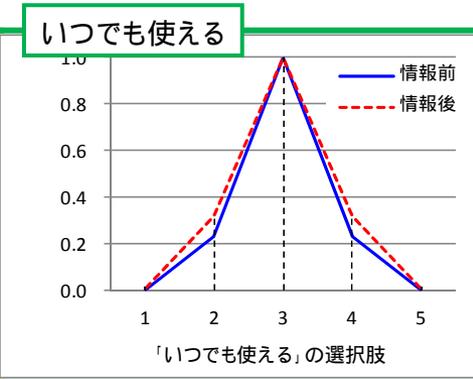
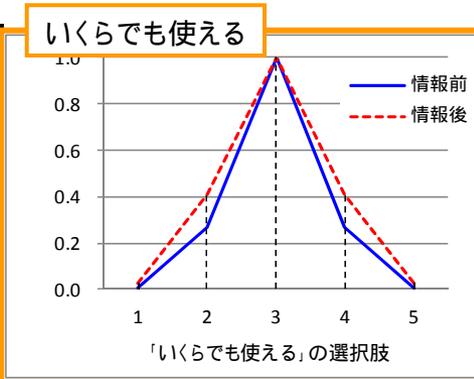
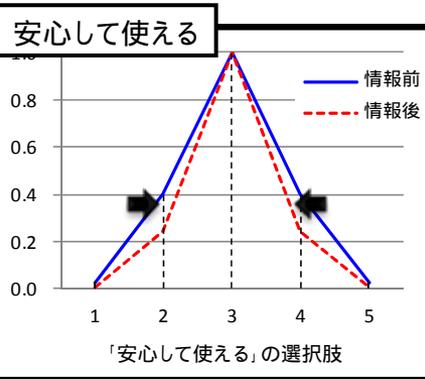
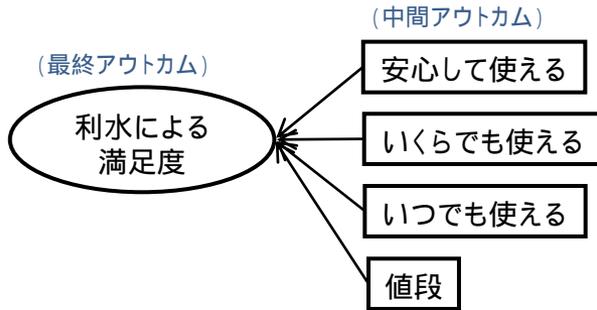


図. 横軸に $x-x$ を取ったときの各説明変数のガウスカーネル ($x=3$ のとき)

情報提供前後での意識の変化



回帰統計			
重相関 R	0.801		
重決定 R2	0.641		
補正 R2	0.640		
標準誤差	0.407		
観測数	1692		
	係数	標準誤差	t
切片	0.975	0.069	14.183
安心	0.485	0.019	25.531
いくらでも	0.036	0.017	2.179 **
いつでも	0.248	0.022	11.501
値段	0.044	0.010	4.372

(*0.05, **0.01, ***0.001)

回帰統計			
重相関 R	0.717		
重決定 R2	0.514		
補正 R2	0.513		
標準誤差	0.448		
観測数	1630		
	係数	標準誤差	t
切片	1.111	0.086	12.988
安心	0.307	0.020	15.315
いくらでも	0.026	0.021	1.226 *
いつでも	0.391	0.027	14.750
値段	0.059	0.012	4.814

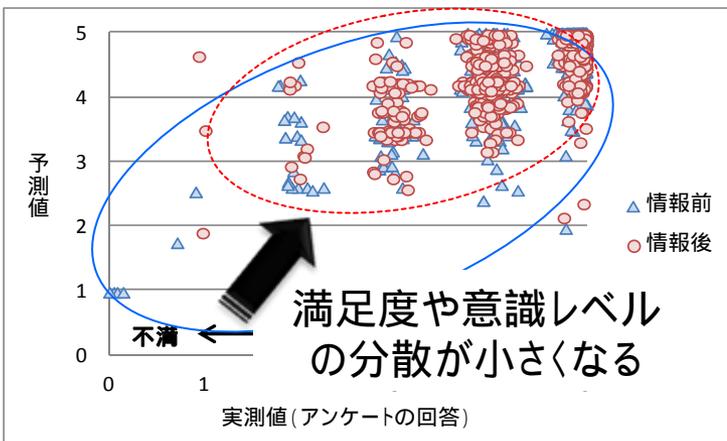
(*0.05, **0.01, ***0.001)

「利水による満足度」の重回帰分析の結果

問1. 普段の生活で、水が利用できることに満足していますか？

かなり満足 やや満足 どちらとも言えない やや不満 かなり不満

5 4 3 2 1



- 各説明変数の目的変数に対する貢献度を把握することができる
- 標準回帰係数とすることによって、全ての説明変数の中での重要度ランキングを把握することができる
- 導かれた関係式を用いて、予測することができる

住民の満足度あるいは特定課題
に対する意識レベルが向上

寄与率や偏回帰係数が小さくなる
(政策効果が発現)

意識構造、意識レベルの分離による解釈

利水の適応策
の受忍意図

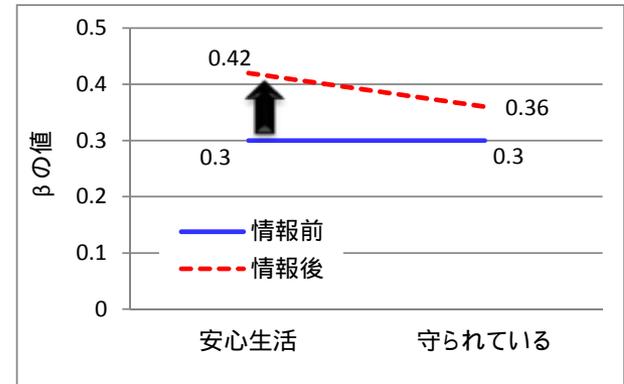
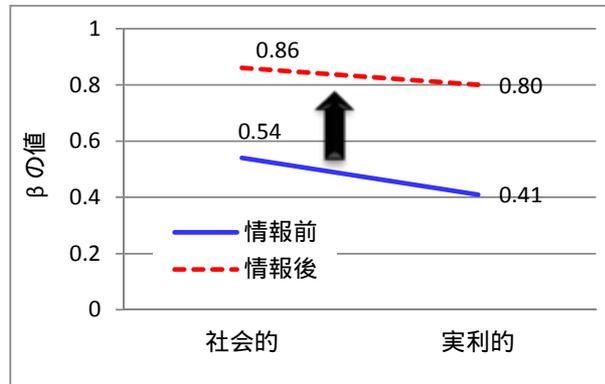
治水による
満足度

$$f(x) = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot \phi_m(x)$$

		適応策
平均	情報前	3.79
	情報後	4.16
標準偏差	情報前	0.95
	情報後	0.78

		治水
平均	情報前	3.71
	情報後	3.60
標準偏差	情報前	0.99
	情報後	0.83

意識構造の変化 (ガウスクーネルの)

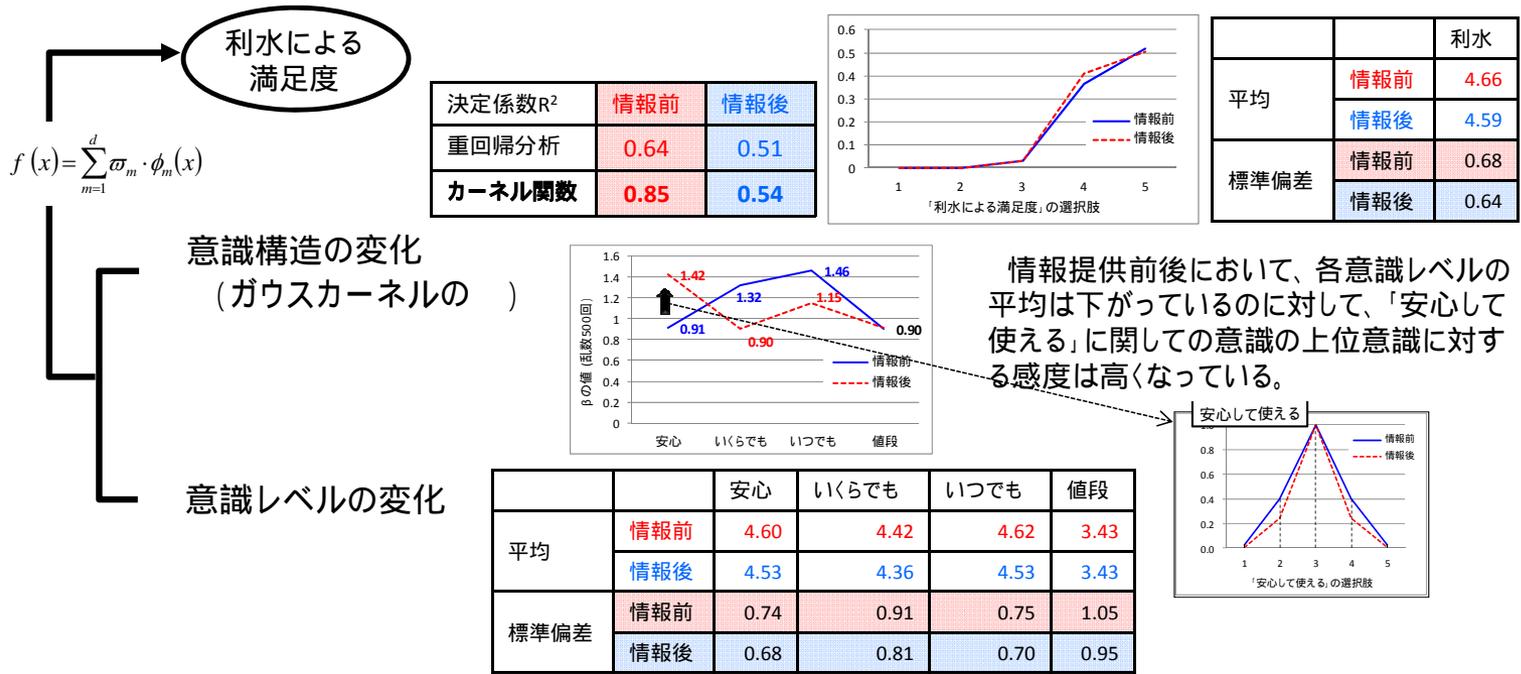


意識レベルの変化

		社会的	実利的
平均	情報前	3.94	4.25
	情報後	4.10	4.28
標準偏差	情報前	0.96	0.90
	情報後	0.81	0.79

		安心生活	守られている
平均	情報前	3.11	3.29
	情報後	2.86	3.52
標準偏差	情報前	1.15	0.98
	情報後	1.01	0.82

(参考2) 意識構造、意識レベルの分離による解釈



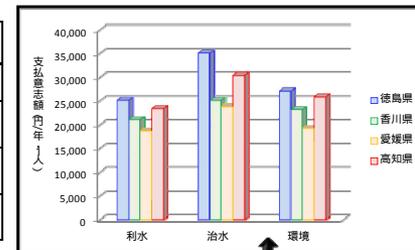
AHP(一対比較)による水に対する市民の重み

一対比較によるアウトカムに対する重み付けの変化

問a. 「利水」よりも「治水」の方が重要ですか？

重要でない あまり重要ではない 同じ より重要 はるかに重要

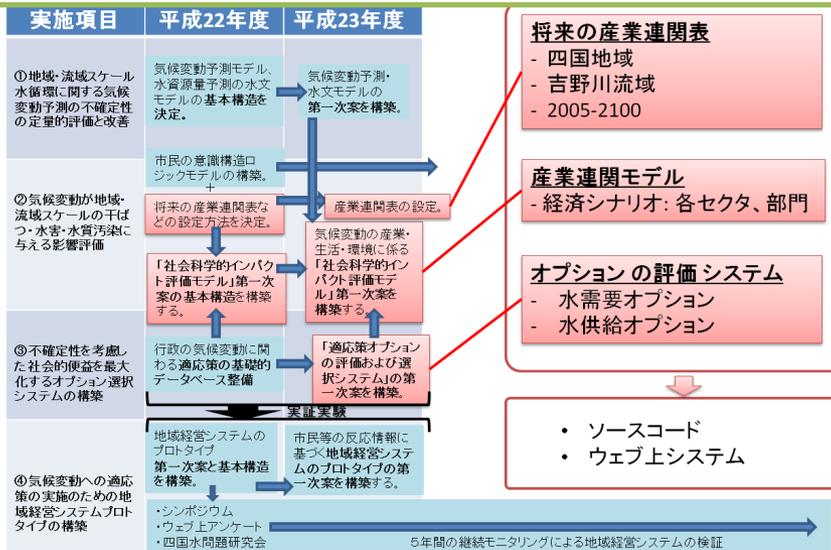
	徳島県		香川県		愛媛県		高知県	
	情報前	情報後	情報前	情報後	情報前	情報後	情報前	情報後
利水	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30
治水	0.40	0.40	0.36	0.37	0.39	0.37	0.38	0.38
環境	0.31	0.31	0.34	0.33	0.31	0.33	0.32	0.32



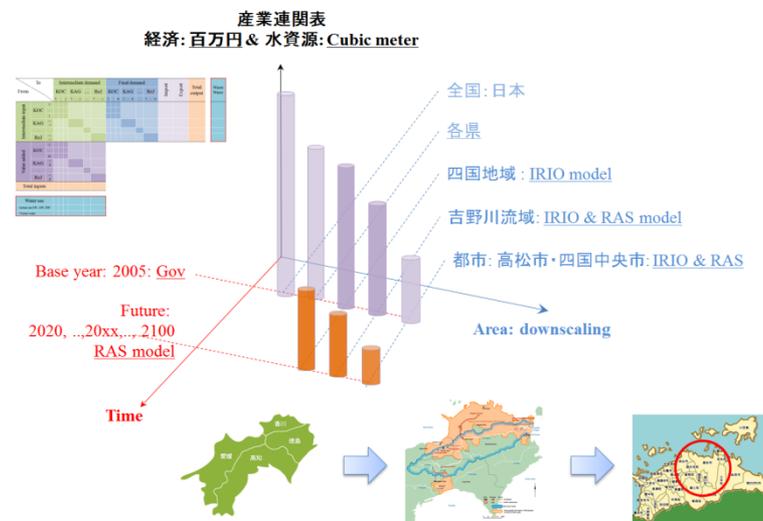
水道料金(円/1人・1年)
= 平均配水量(/1日・1人) × 供給単価(円/m³)

気候変動が地域・流域スケールの干ばつ・水害・水質汚染に与える影響評価(経済) 不確定性を考慮した社会的便益を最大化するオプション選択システムの構築(便益)

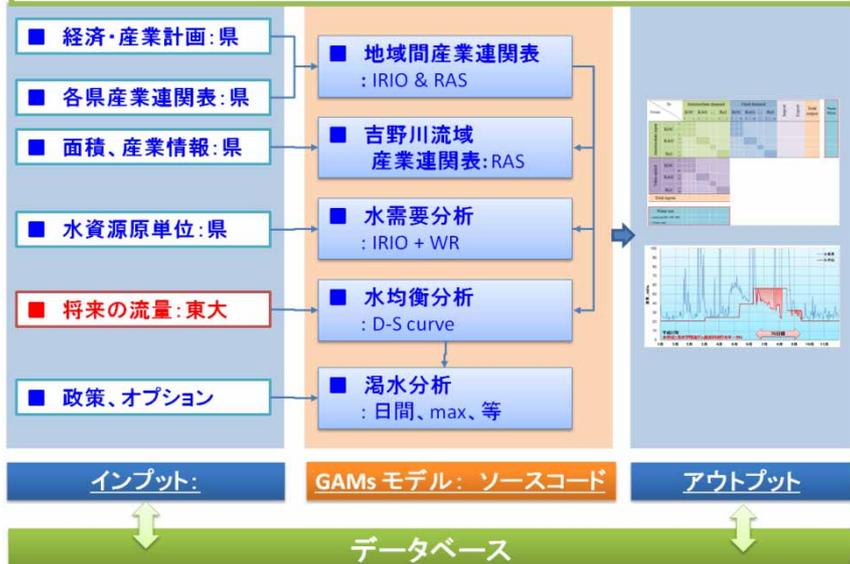
平成23年度の成果と進捗



ダウンスケーリング: 四国地域→吉野川流域



平成23年度プログラミング



平成24年度の検討事項

1. 地方自治体と連携を一層強化して、地域の適応策に関わる社会シナリオに関する合意形成実験を具体的に進めます。

「社会科学的インパクト評価モデル」の妥当性、精度改善した**第二次案を構築**。

「**適応策オプションの 評価および選択システム**」の妥当性検証と**第二次案を構築**。

気候変動への適応策の実施のための地域経営システムプロトタイプ構築

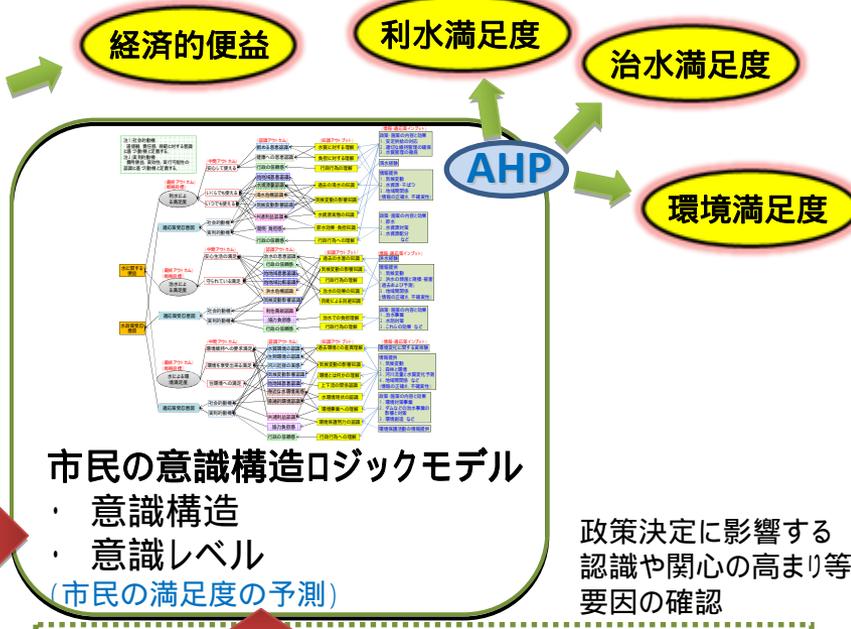
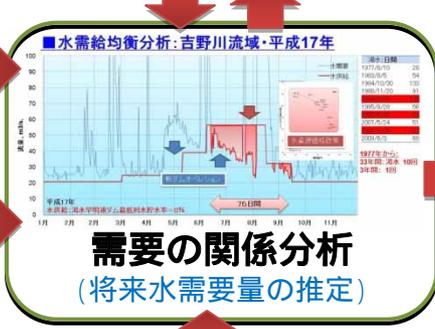
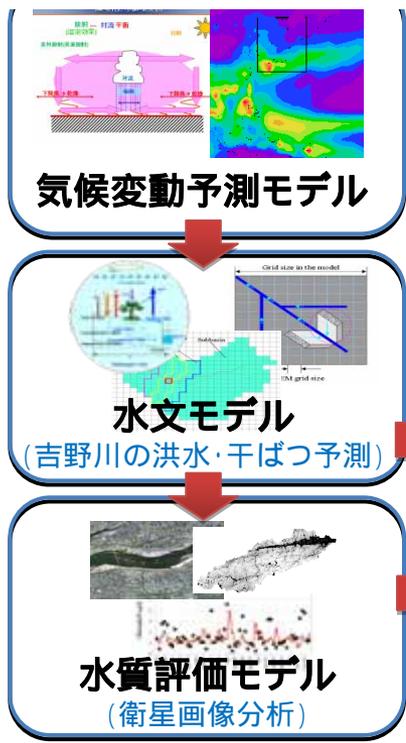


平成24年度の検討事項

1. その結果として、将来の気候変動に関わる地域経営システムを地域に提供するとともに、他地域でも同様の取り組みが出来るようにプロセスや方法論の一般化を目指します。本年度はまず、このシステムがウェブ上で利用可能とします。

地域・流域スケール水循環

社会科学的なインパクトの評価



●不確定性の定量的評価
(気候変動による干ばつ・水害・水質汚染の影響)
精度および不確定性の改善方法検討
IPCC第4次評価報告と第5次評価報告での不確定性の变化

政策オプション

水資源政策の影響
・水需要に関わる3R(節水、再利用、再処理)
・水需要量制限、価格政策、供給計画

シンポ等で地域経営を疑似的に再現
意識構造と意識レベルを分離する新たなカーネル法で、政策効果をより詳細に確認出来ることに。

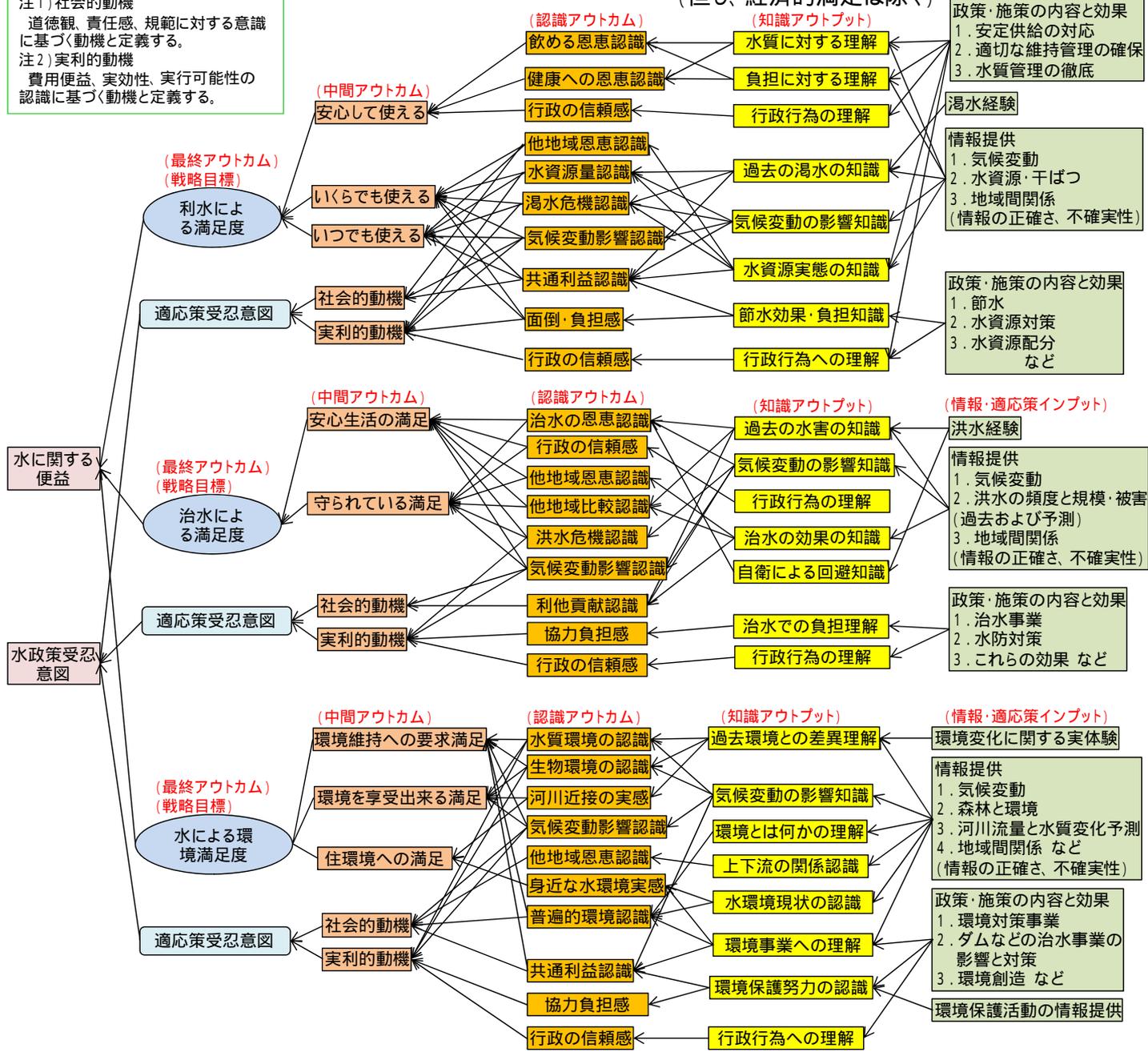
		徳島県	香川県	愛媛県	高知県
シンポ	2010年	71人	40人	32人	70人
	2011年	25人	42人	55人	32人
Web等	2010年	215人	400人	199人	309人
	2011年	341人	339人	335人	338人

水に対する満足に関わる意識構造ロジックモデル

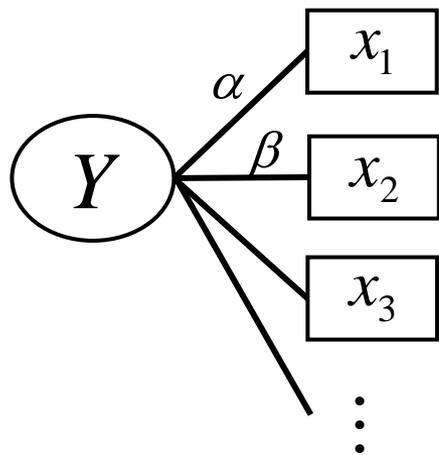
注1) 社会的動機
 道徳観、責任感、規範に対する意識に基づく動機と定義する。
 注2) 実利的動機
 費用便益、実効性、実行可能性の認識に基づく動機と定義する。

(但し、経済的満足は除く)

(情報・適応策インプット)



重回帰分析による予測式



問1. 普段の生活で、水が利用できることに満足していますか？

かなり満足 やや満足 どちらとも言えない やや不満 かなり不満

5

4

3

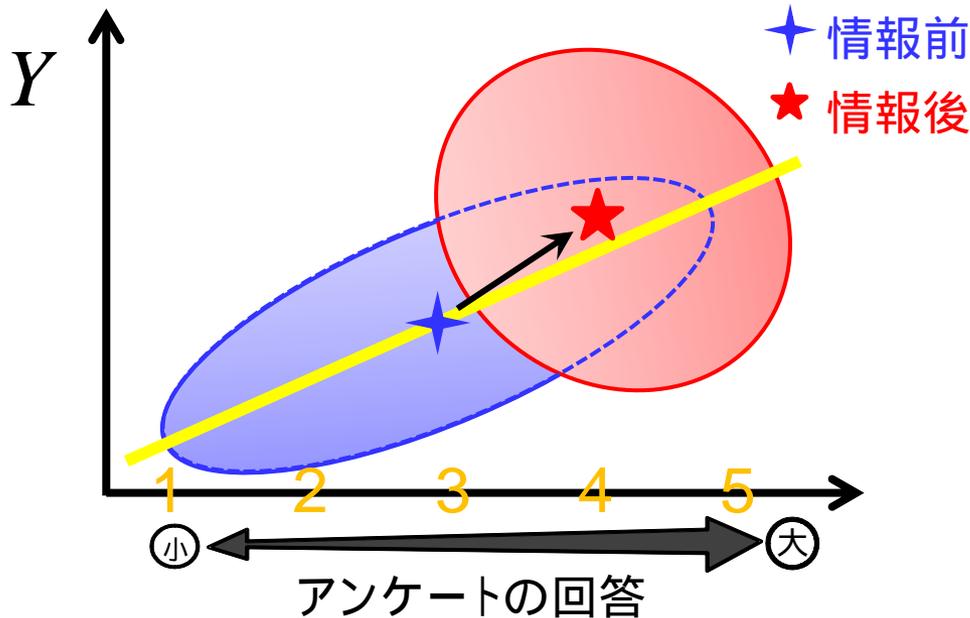
2

1

大

小

$$Y = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \dots + \varepsilon \quad (\text{予測式})$$



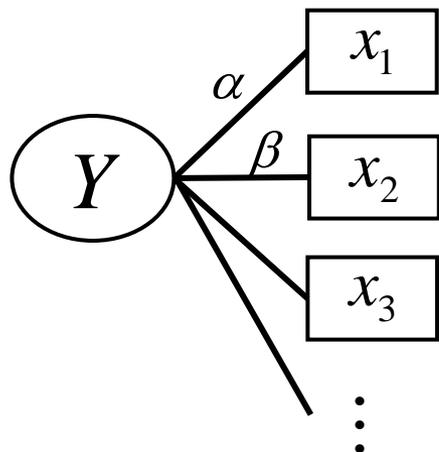
平均値が高くなる

右下にシフト

分散(バラつき)が大きくなる

予測式の当てはまりが悪い

情報前後での Y に対する関与度



問1. 普段の生活で、水が利用できることに満足していますか？

かなり満足 やや満足 どちらとも言えない やや不満 かなり不満

5

4

3

2

1

大

小

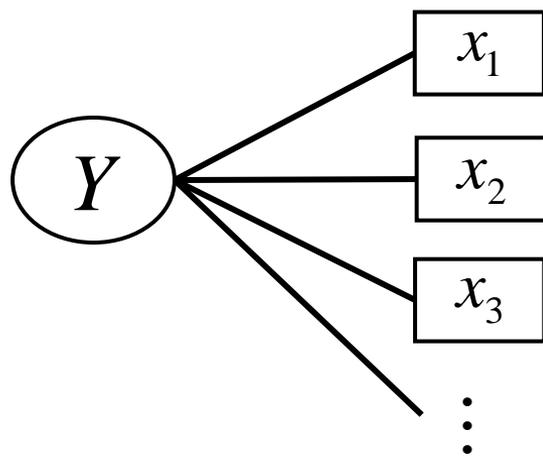
$$Y = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \dots + \varepsilon \quad (\text{予測式})$$

情報前と情報後の変化を

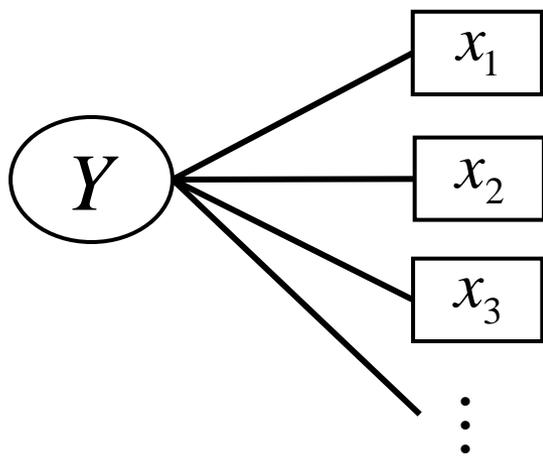
Y と x_i との分布の変化で把握する

- 正規分布を仮定
- 正規分布に含まれるパラメータ の変化

$$k(x, x') = \exp(-\beta \|x - x'\|^2)$$



情報前後での分布の変化のイメージ



情報前と情報後の変化を

Y と x_i との分布の変化で把握する

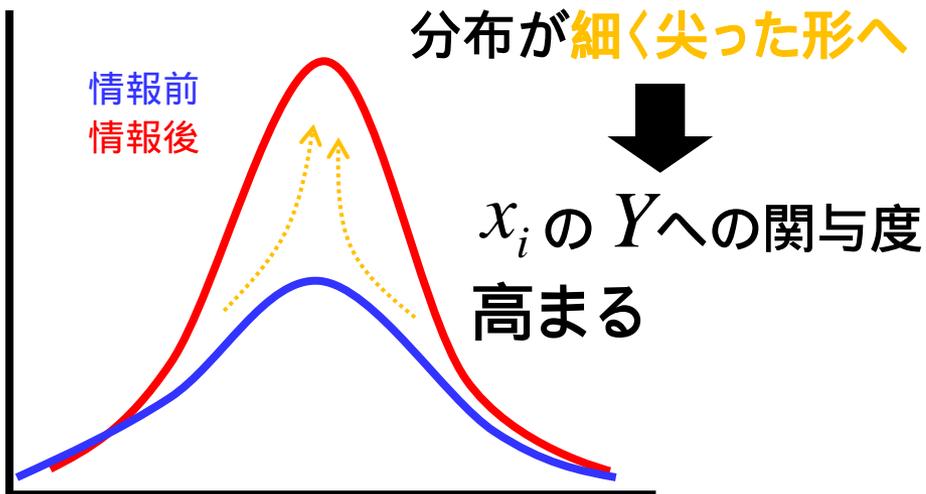
- 正規分布を仮定
- 正規分布に含まれるパラメータ の変化

$$k(x, x') = \exp\left(-\beta \|x - x'\|^2\right)$$

分布の変化は、情報によって意識する各項目の度合いが変わったことを意味する。意識構造が変化したと定義する。

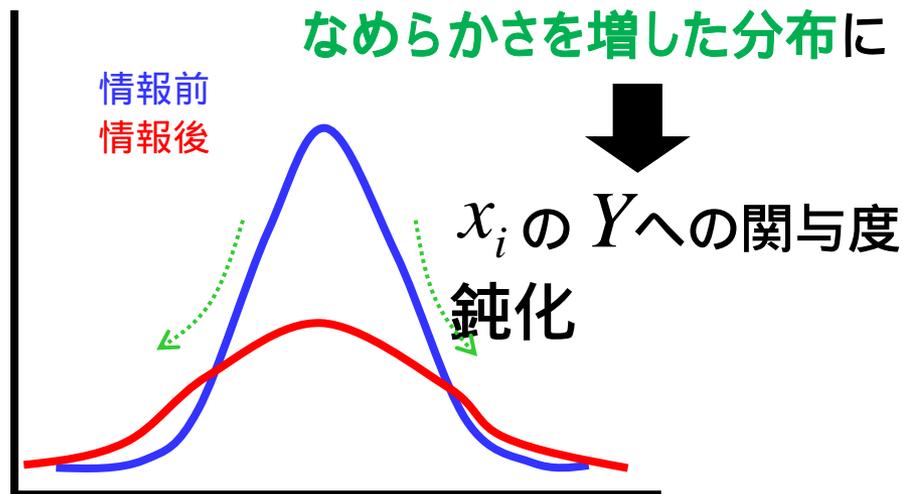
の値が大きくなる

分布が細く尖った形へ



の値が小さくなる

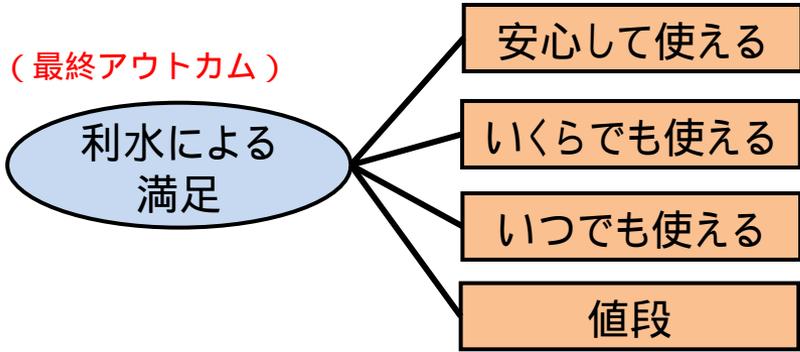
なめらかさを増した分布に



情報提供による β の変化量

(中間アウトカム)

(最終アウトカム)

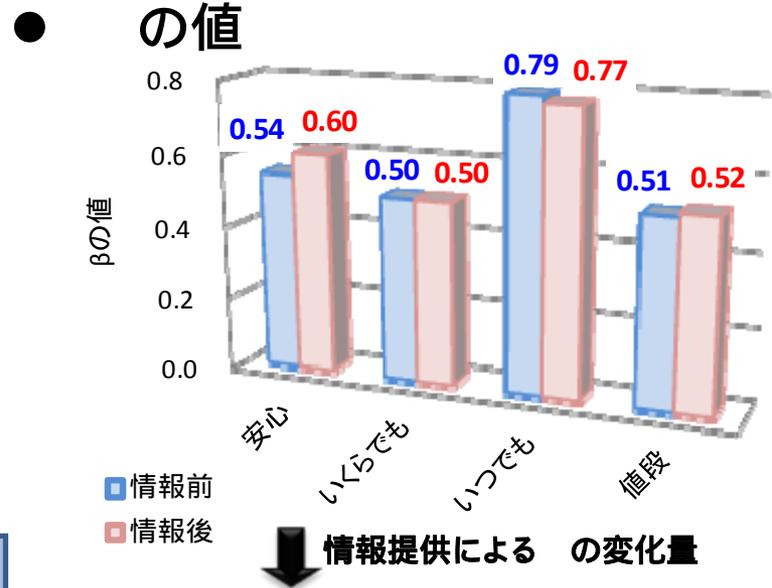


利水満足度に対する「安心して使える」の関与が高まっている

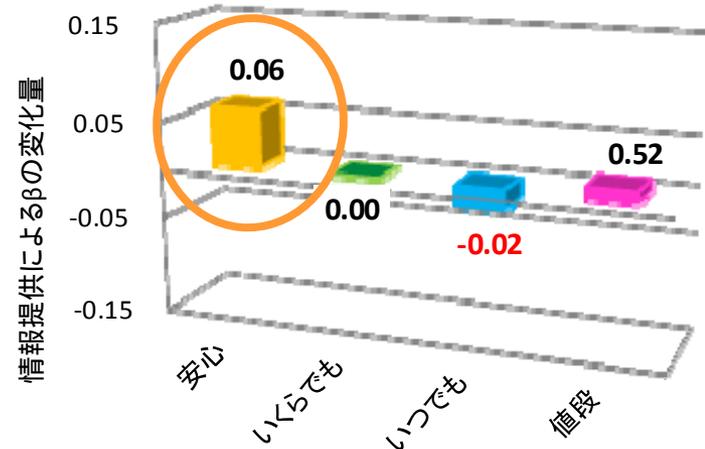
● アンケート結果の平均値

	安心	いくらでも	いつでも	値段
情報前	4.62	4.45	4.64	3.45
情報後	4.53	4.36	4.53	3.43

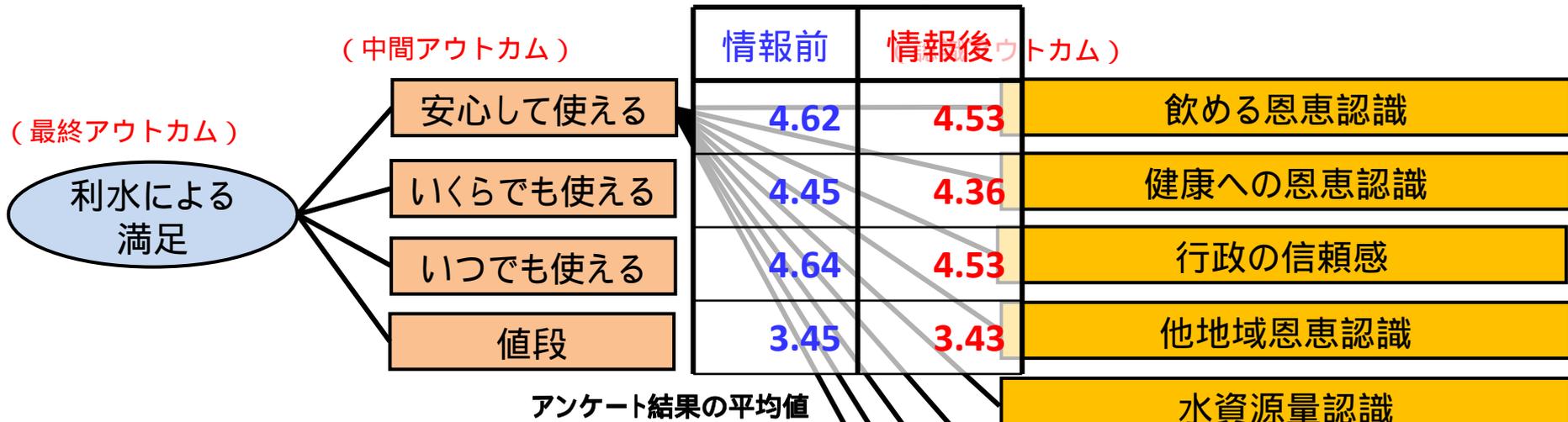
各項目とも意識レベルはわずかに下がっている



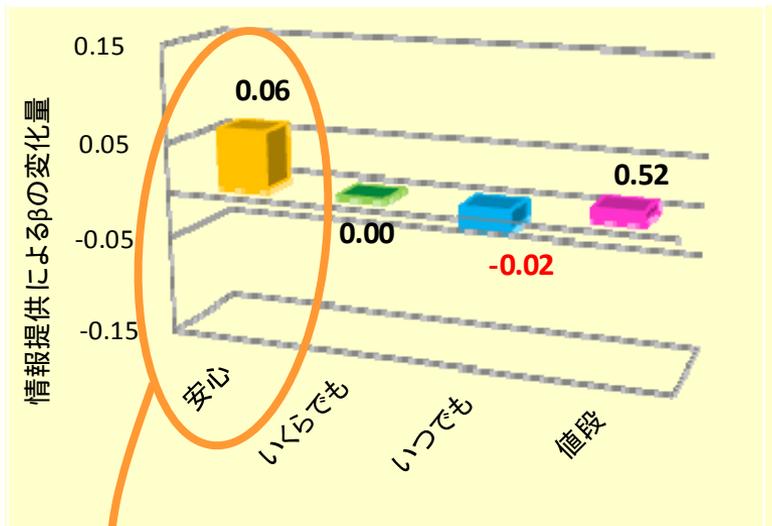
● 「利水による満足」に対する関与度



上位概念に対する関与度



● 「利水による満足」に対する関与度



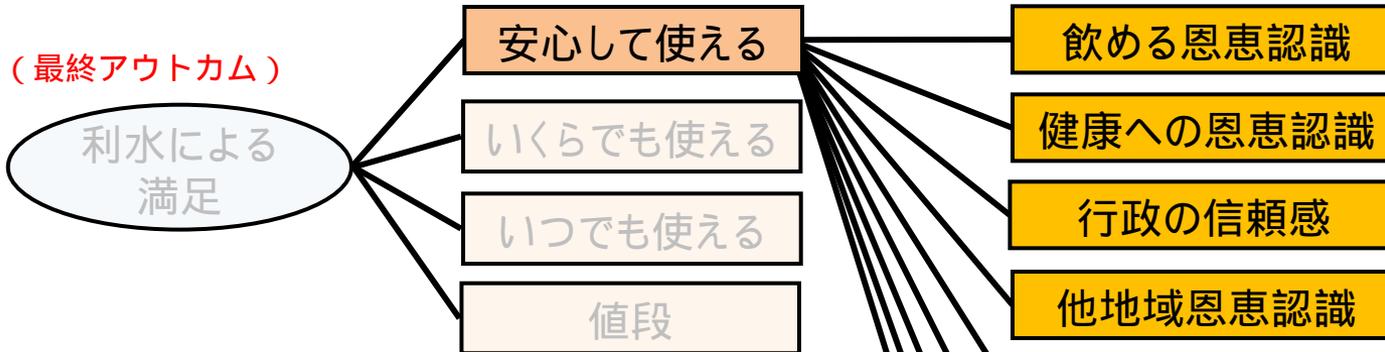
- 水資源量認識
- 渇水危機認識
- 気候変動影響認識
- 共通利益認識
- 面倒・負担感

上位概念に対する関与度

(中間アウトカム)

(認識アウトカム)

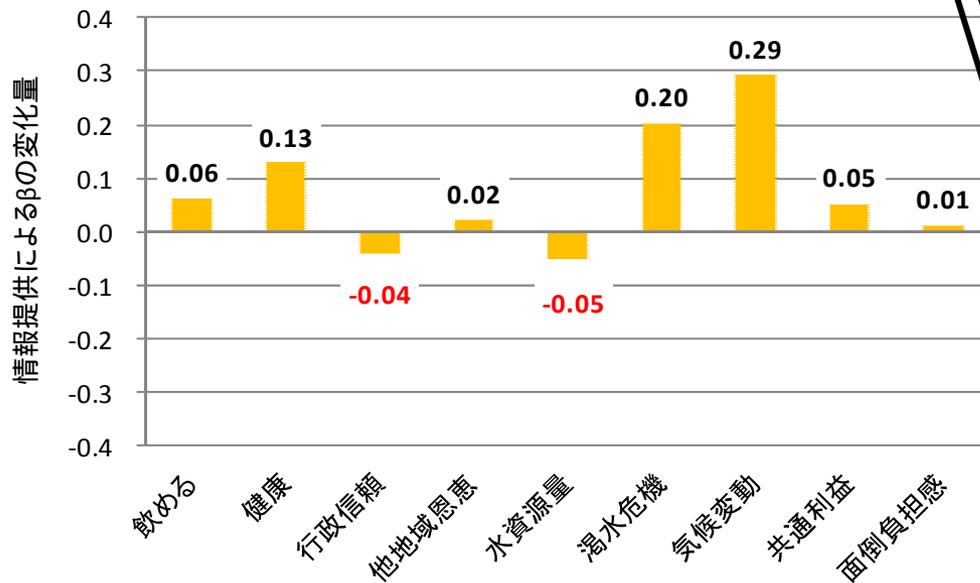
(最終アウトカム)



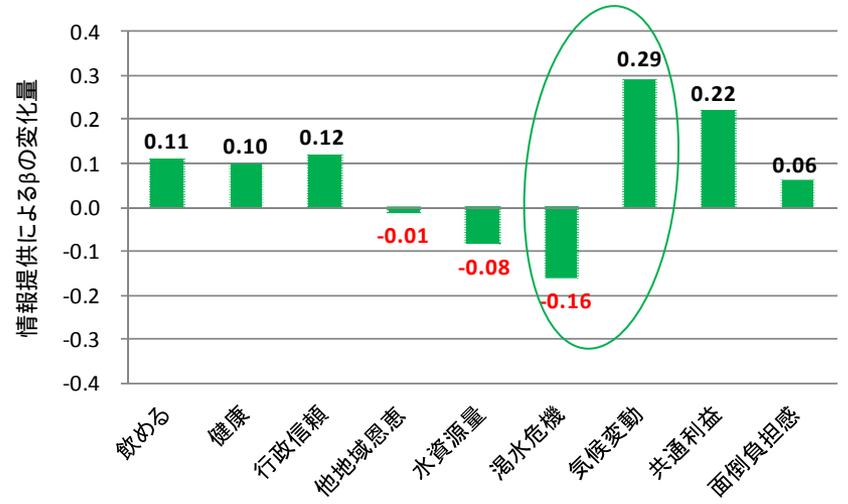
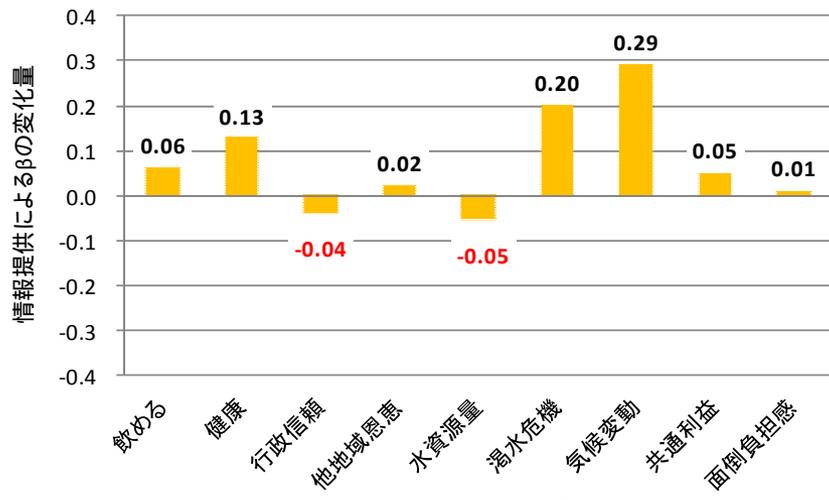
アンケート結果の平均値

情報前	情報後
4.35	4.48
4.22	4.39
3.70	3.87
3.38	3.96
2.72	2.75
4.29	4.36
4.17	4.26
4.47	4.30
3.18	3.05

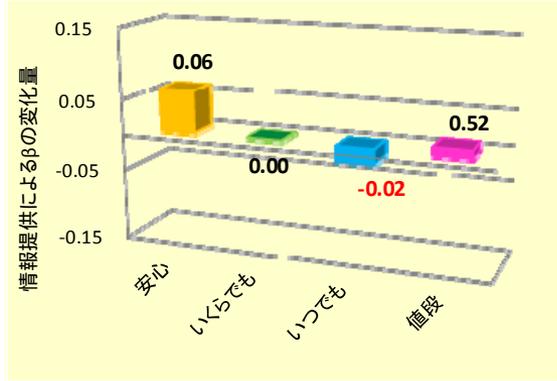
● 「安心して使える」に対する関与度



気候変動の影響や渇水の危険性を認識することで、安心して使えているという実感が増す。



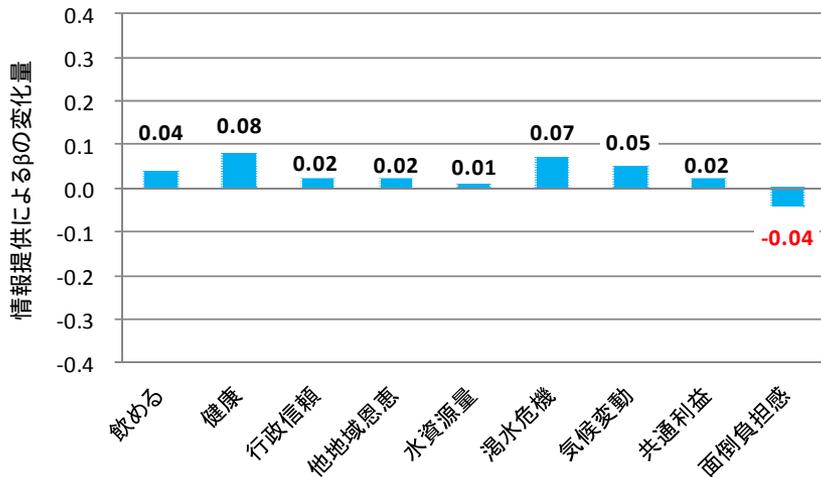
『安心』に対する各関与度



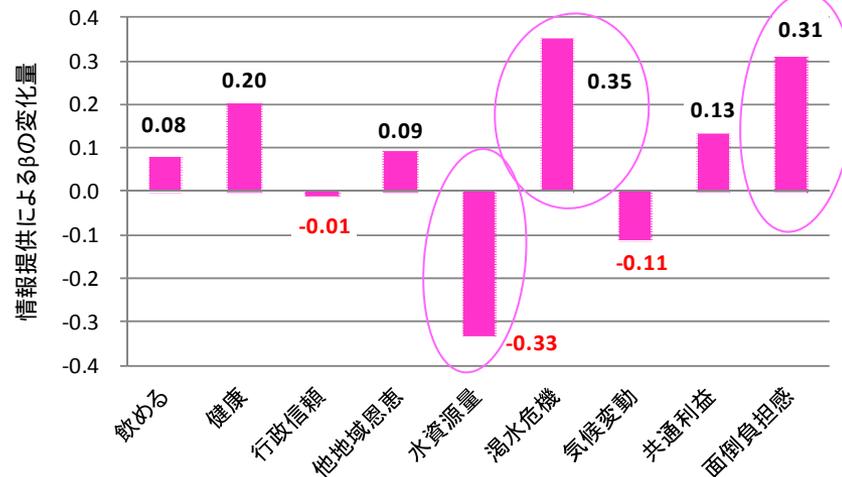
『いくらでも』に対する各関与度

『利水による満足度』
に対する関与度

『いつでも』に対する各関与度



『値段』に対する各関与度



上位概念に対する関与度

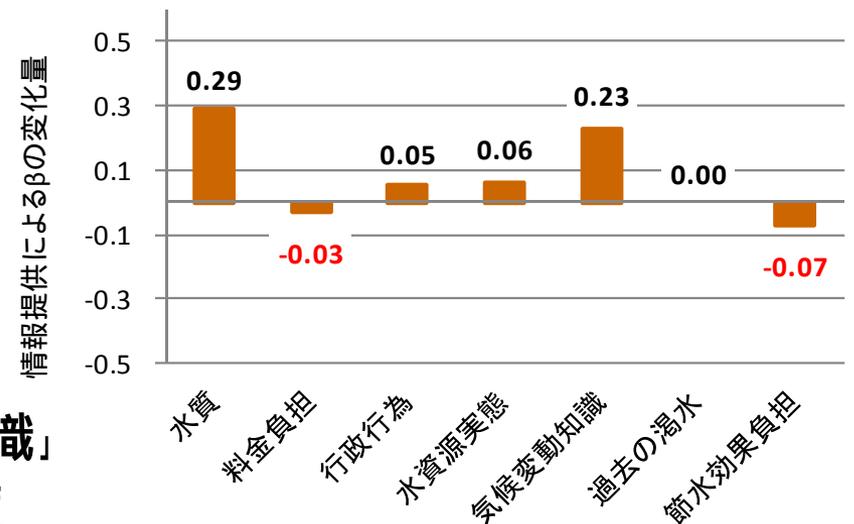
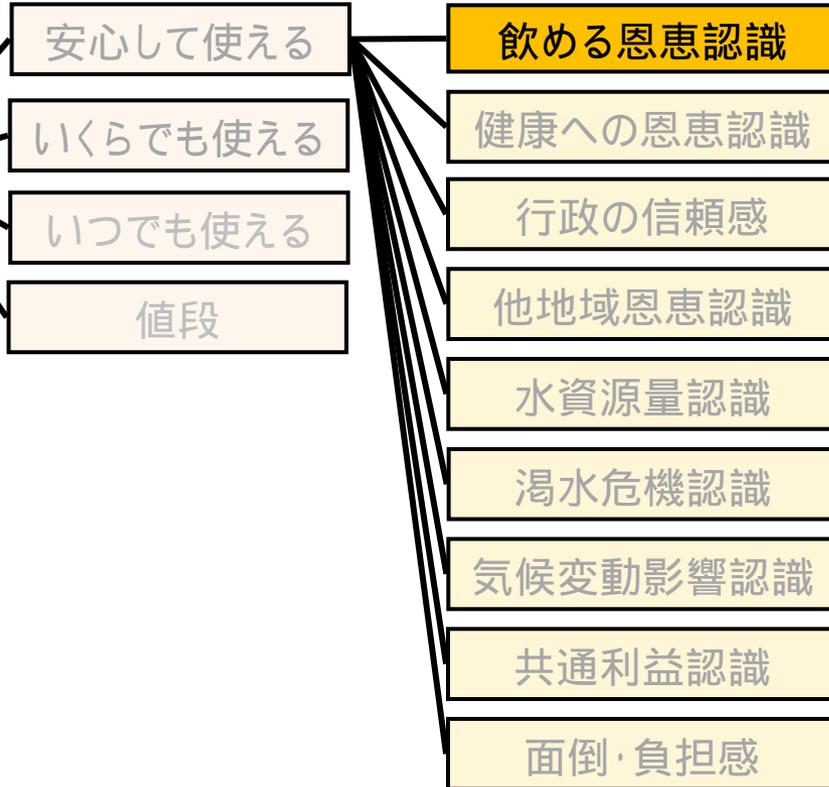
アンケート結果の平均値

	情報前	情報後
水質に対する理解	3.29	3.70
料金負担に対する理解	3.90	4.06
行政行為の理解	3.10	3.73
水資源実態の知識	3.00	3.60
気候変動の影響知識	3.38	3.97
過去の渇水の知識	3.62	3.65
節水効果・負担知識	2.78	3.30

(知識アウトプット)

(認識アウトカム)

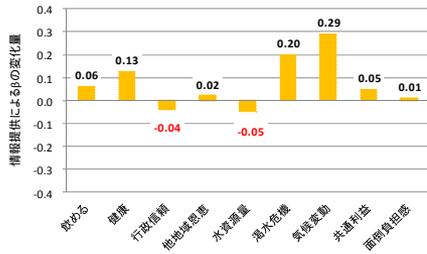
(中間アウトカム)



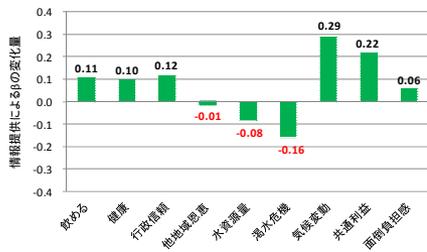
- 「飲める恩恵認識」に対する関与度

中間アウトカム

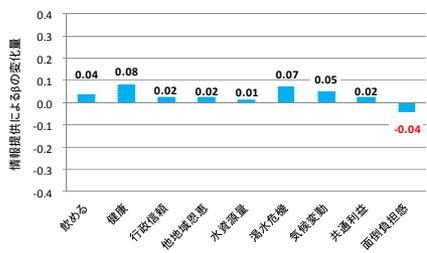
『安心』に対する各関与度



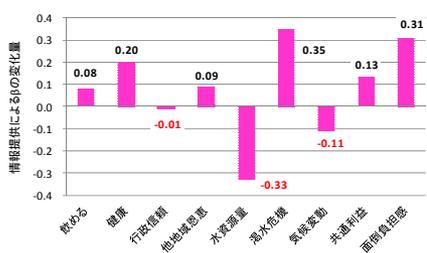
『いくらでも』に対する各関与度



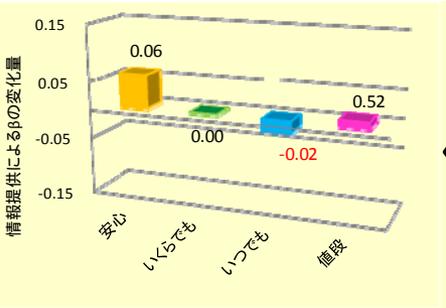
『いつでも』に対する各関与度



『値段』に対する各関与度

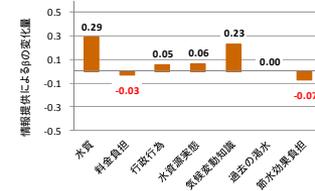


『利水による満足度』に対する関与度

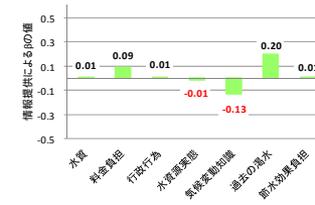


認識アウトカム

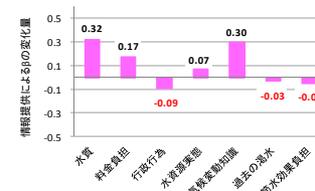
『飲める恩恵』



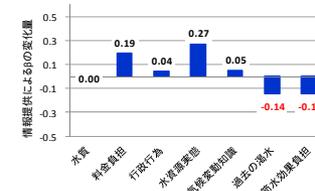
『健康への恩恵』



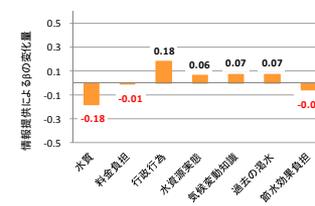
『行政の信頼感』



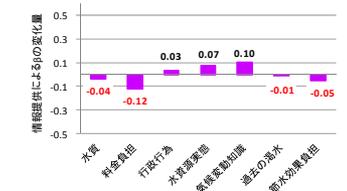
『他地域恩恵認識』



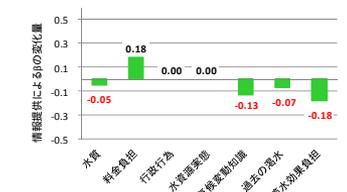
『水資源量認識』



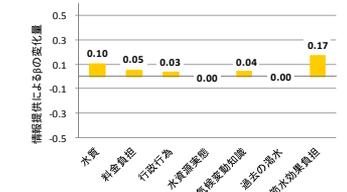
『湯水危機認識』



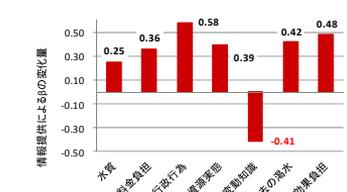
『気候変動影響認識』



『共通利益認識』



『面倒・負担感』



インプット側から取りまとめる

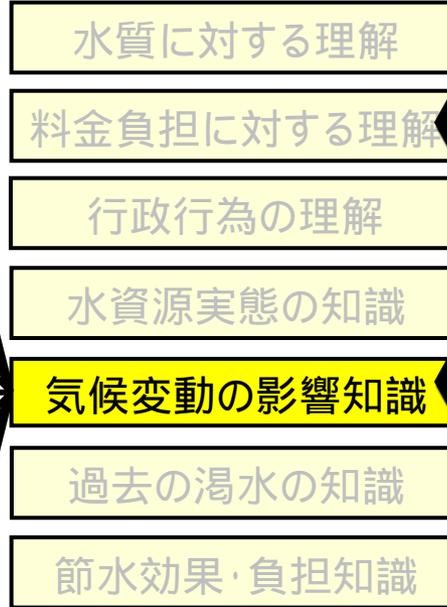
(中間アウトカム)



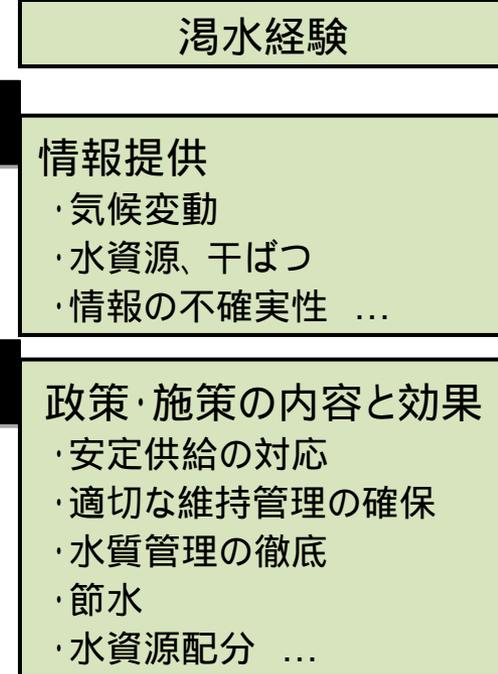
(認識アウトカム)



(知識アウトプット)

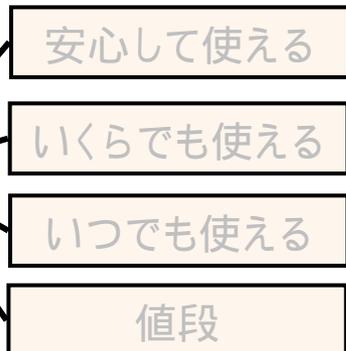


(情報・適応策インプット)



インプット側から取りまとめる

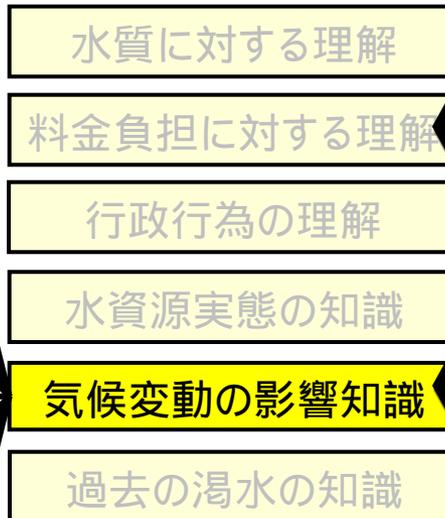
(中間アウトカム)



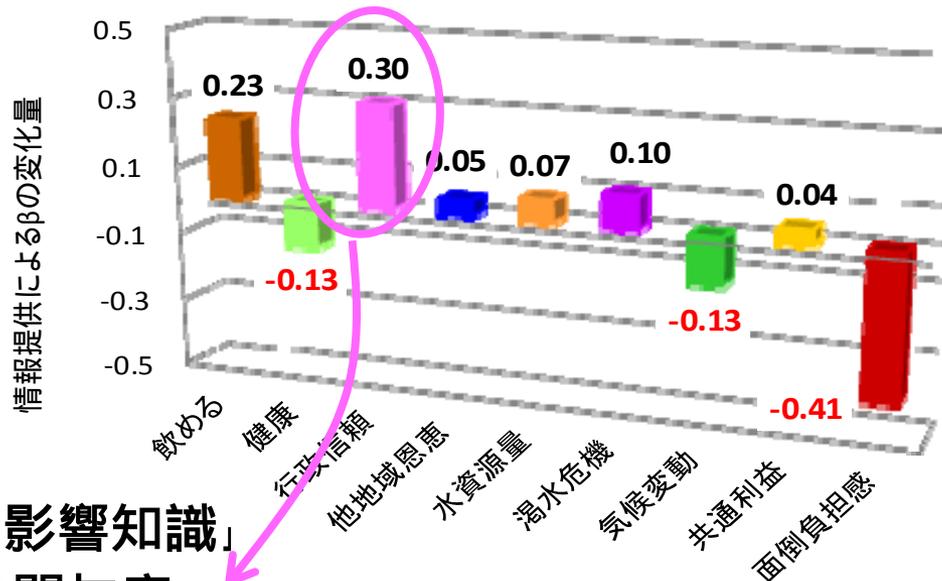
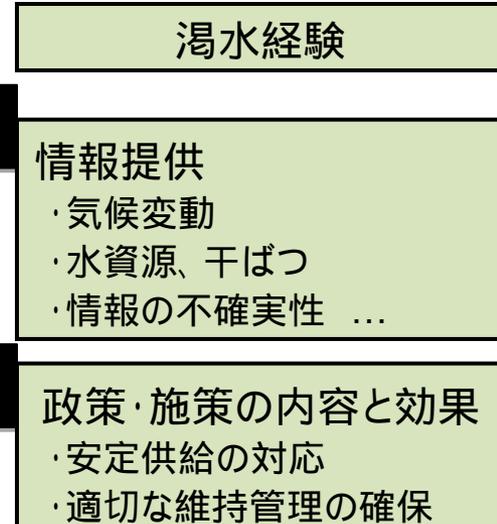
(認識アウトカム)



(知識アウトプット)



(情報・適応策インプット)



- 「気候変動の影響知識」の変化による関与度

インプット側から取りまとめる

(中間アウトカム)



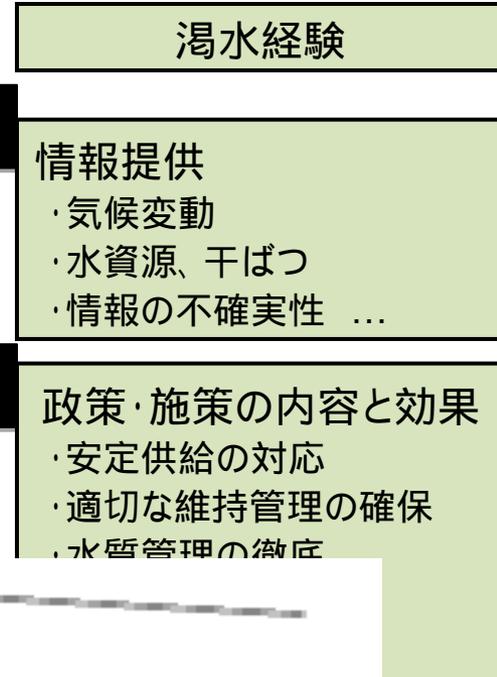
(認識アウトカム)



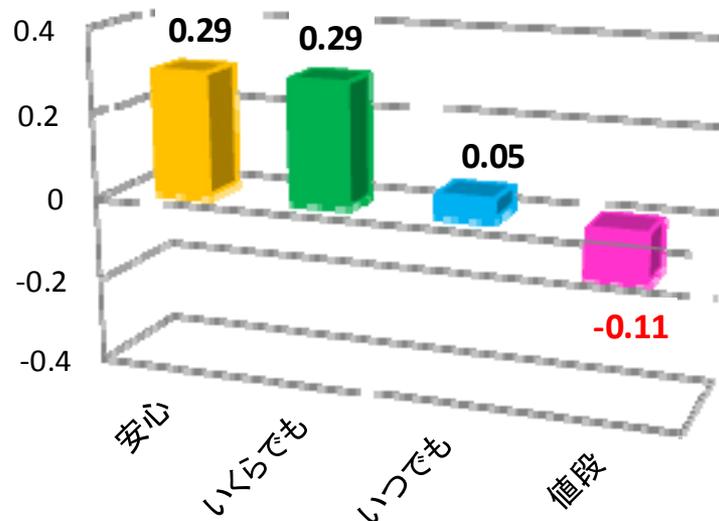
(知識アウトプット)



(情報・適応策インプット)



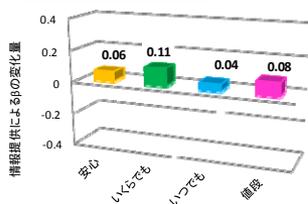
情報提供によるβの変化量



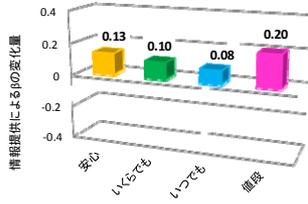
- 「行政の信頼感」による関与度

中間アウトカムに与える影響

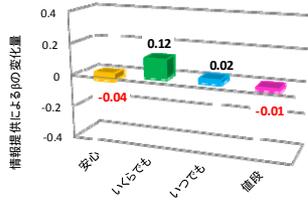
『飲める恩恵』



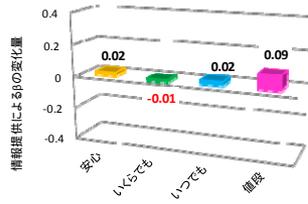
『健康への恩恵』



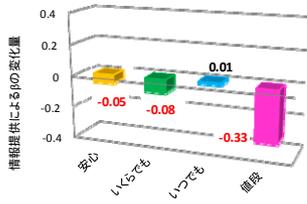
『行政の信頼感』



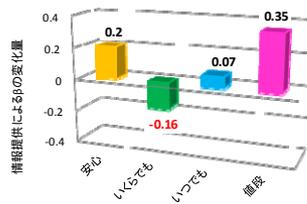
『他地域恩恵認識』



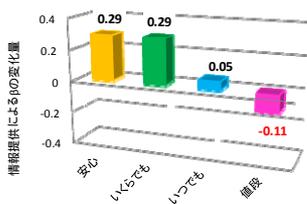
『水資源量認識』



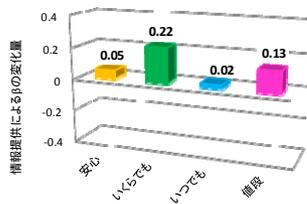
『渇水危機認識』



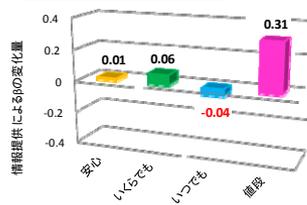
『気候変動影響認識』



『共通利益認識』

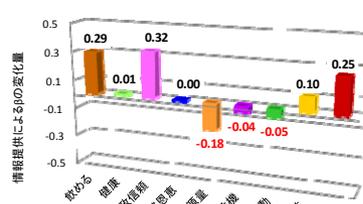


『面倒・負担感』

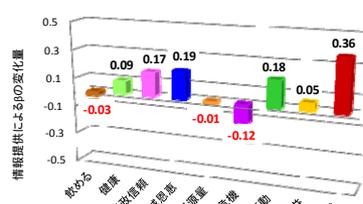


認識アウトカムに与える影響

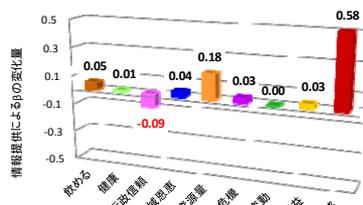
水質に対する理解



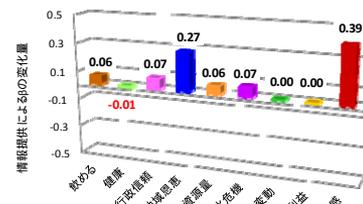
料金負担に対する理解



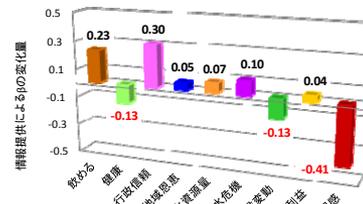
行政行為の理解



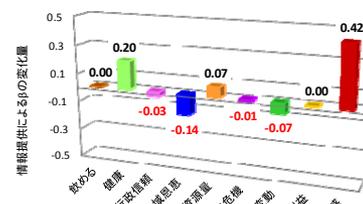
水資源実態の知識



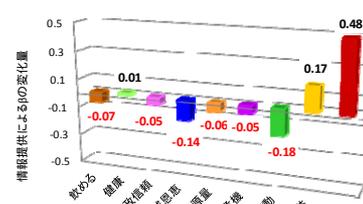
気候変動の影響知識



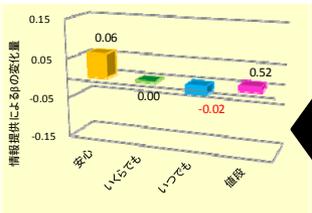
過去の渇水の知識



節水効果・負担知識



『利水による満足度』に対する関与度



対話を通じた合意形成、意識変化のモニタリング

シンポジウムの開催状況



		徳島県	香川県	愛媛県	高知県	四国中央市
シンポジウム	2010年度	71人	40人	32人	70人	-
	2011年度	25人 (内14人)	42人 (内18人)	30人 (内12人)	32人 (内15人)	25人
Webアンケート	2010年度 Web	183人	178人	181人	171人	-
	配布	132人	222人	81人	138人	-
	2011年度	341人 (内111人)	339人 (内122人)	335人 (内120人)	338人 (内94人)	-

今年度の予定

*(内人数)は、2010年度参加者数

社会シナリオに沿って、地域経営を実践する場・モデルケースとして、高松市、四国中央市にて座談会を3回のシリーズにて実施

	日程	会場
徳島県	1月12日(土)	あわぎんホール 会議室6
香川県	1月19日(土)	サンポート高松 54会議室
愛媛県	1月20日(日)	男女共同参画センター 研修室
高知県	1月26日(土)	文化プラザかるぼーと 3会議室
高松市	調整中	
四国中央市	9月26日(水) 12月, 2月開催予定	四国中央市民会館 川之江会館

