

KOKORO
RESEARCH
CENTER
KYOTO UNIVERSITY

HITACHI
Inspire the Next

AIを活用した、日本社会の未来と高等教育に関するシミュレーション 【詳細版】

2019/1/24

文部科学省高等教育局
京都大学こころの未来研究センター
日立製作所基礎研究センター日立京大ラボ

- 「2040年に向けた高等教育のグランドデザイン(答申(案))」の議論の参考とするため、2040年という時代に向かう未来シナリオを、AIを活用してシミュレーションするという試みを、日立製作所日立京大ラボと京都大学こころの未来研究センター(広井良典教授)の協力を得て、文部科学省高等教育局が行った。日立製作所のAI技術を活用したシミュレーションを省庁が活用するのは初の試みである。
- 日立製作所日立京大ラボと京都大学こころの未来研究センター(広井良典教授)が、AIを活用した政策提言を試みた背景は以下の通りである。我が国では、少子高齢化や産業構造変化に伴って成長・拡大時代から成熟時代へのパラダイム・シフトが起こりつつあり、①人口、②財政や社会保障、③都市や地域、④環境や資源、などの持続可能性や、⑤雇用の維持、⑥格差の解消、およびそこで生きる人間の⑦幸福、⑧健康の維持・増進が大きな社会課題となっている。これらの課題に対処するためには、時機を捉えた戦略的な政策の立案と実行が求められるが、有識者や政策担当者が思い描ける未来シナリオの数には限りがあり、それらのシナリオの中で政策の内容や時期を考えざるを得ない面があった。そこで、AIの数値予測や意図予測といった予測領域に属するシナリオを活用し、シミュレーションを行うことで、持続可能な日本の未来に必要な政策を提言するというプロジェクトを開始し、第一次の成果を2017年9月にとりまとめた。
- 今回、上記の取組に高等教育関連の要因を加えて新たなシミュレーションを行った。



情報収集 ステージ (モデル化)

問題設定

2040年に向けた
高等教育の
グランドデザイン

情報収集

人(有識者)の
知の蓄積

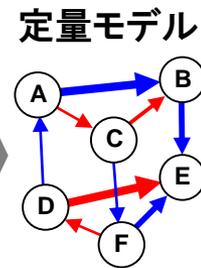
情報体系化

因果洗い出し

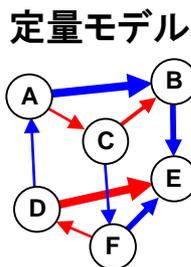
係数設定

□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□

統計データの利用



選択肢検討 ステージ (解析)



①シナリオ列挙

多数シナリオ
シミュレーション

シナリオ分類

2万シナリオ

②関係性検討

分岐構造解析

③要因検討

分岐要因解析

戦略選択 ステージ (政策提言)



シナリオ比較/価値判断

政策提言

□	□	□	□	□	□
□	□	□	□	□	□
●	□	□	□	□	□
●	□	□	□	□	□
●	□	□	□	□	□

※人(有識者)のステージは、文部科学省高等教育局、京都大学こころの未来研究センター、日立製作所基礎研究センター日立京大ラボが共同して実施し、機械(AI)のステージは日立製作所基礎研究センター日立京大ラボが実施した。

2-1 情報収集ステージ



情報収集 ステージ (モデル化)

問題設定

2040年に向けた
高等教育の
グランドデザイン

情報収集

人(有識者)の
知の蓄積

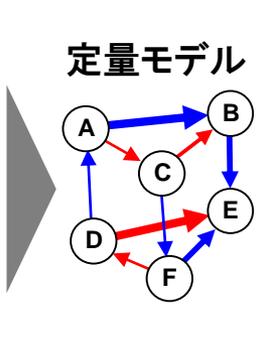
情報体系化

因果洗い出し

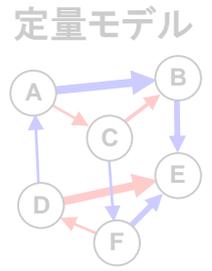
係数設定

□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□

統計データの利用



選択肢検討 ステージ (解析)



①シナリオ列挙

多数シナリオ
シミュレーション

シナリオ分類

2万シナリオ

②関係性検討

分岐構造解析

③要因検討

分岐要因解析

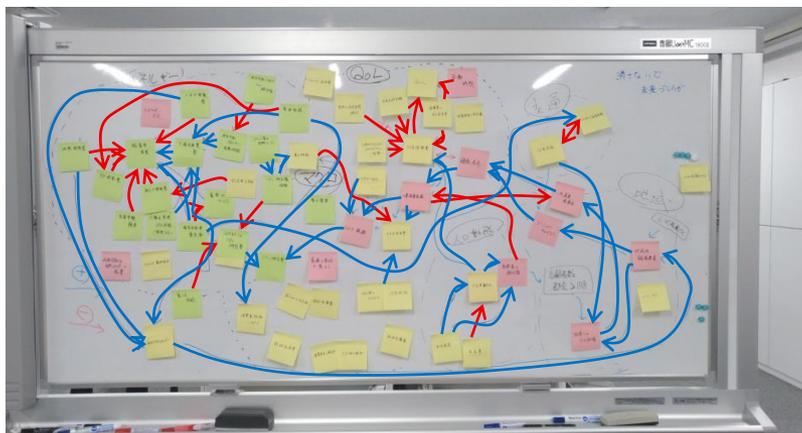
シナリオ比較／価値判断

政策提言

戦略選択 ステージ (政策提言)

◆ ワークショップによる因果関係の洗い出し

① キーワードの洗い出しと因果関係を付加(既存指標を活用)



② 「高等教育関連」のキーワードの洗い出しと因果関係を付加



[キーワード例]

高齢人口、出生率、GDP、一極集中、地域内経済循環、CO2排出量、雇用、所得格差、健康寿命、主観的幸福感 etc



[キーワード例]

教育の質、学力、教育投資、大学進学率、リカレント教育、留学生、地方大学の振興、都市部の大学の規模 etc



③ 既存の因果関係(①)と「高等教育関連」の因果関係(②)を統合

◆ 定量モデル構築における課題

パラメータ(強度・時間遅れ)をどうやって定めるか？ 値の信頼性は？



採用した方針

方針1.

パラメータの不確実性をそのまま表現し、
大量シミュレーションにより、全ての可能性(未来シナリオ)を調べる。

方針2.

未来シナリオ間の関係性(分岐構造)に注目し、
分岐に関係するパラメータを特定する。



◆ 係数設定のフロー

- 1) 各エッジに、人手で係数を付与。
 - ・強度(相関係数)、とその信頼度(ばらつき)
 - ・時間遅れ、とその信頼度(ばらつき)
- 2) 設定した強度・時間遅れの値をもとに、シミュレーションモデルを構築。
- 3) シミュレーション結果からモデルのパラメータを修正。
(過去の統計データを考慮する)

符号	From	To	線形	遅延[m]	線形.ばらつき[σ]	遅延.ばらつき[±m]
+	(公的)健康保険	医療アクセス	0.1	60	0.1	12
+	(公的)健康保険	健康寿命	0.2	60	0.1	12
+	FIT買取価格	地域内製エネルギー(太陽光, 風力, 水)	0.7	12	0.1	6
+	FIT買取価格	売電収入	1	12	0.3	1
+	GNH/幸福度指標	豊かさ	0.8	0	0.2	0
+	ICT/遠隔医療	医療アクセス	1	12	0.1	6
+	Uターン・イターン	生産人口	0.7	12	0.3	3
+	Uターン・イターン	地域人口	1	12	0.3	3
+	アウトカム指標(死亡率など)	健康寿命	0.5	0	0.3	6
-	グローバル化	地域内経済循環	0.5	12	0.5	12
+	コミュニティ貨幣	地域内経済循環	1	1	0.5	1
+	コミュニティ貨幣	地域内経済循環	1	12	0.1	3
-	ストレス	健康寿命	0.2	60	0.1	12
-	ストレス	主観的幸福感	0.2	0	0.1	0
+	ソーシャルキャピタル	健康寿命	0.5	48	0.3	24
+	ソーシャルキャピタル	主観的幸福感	0.6	36	0.3	18
+	ソーシャルキャピタル	取り組みに対する地元市民の認知度	0.8	18	0.2	9
+	ソーシャルキャピタル	地域の経済主体	1.5	16	0.3	4

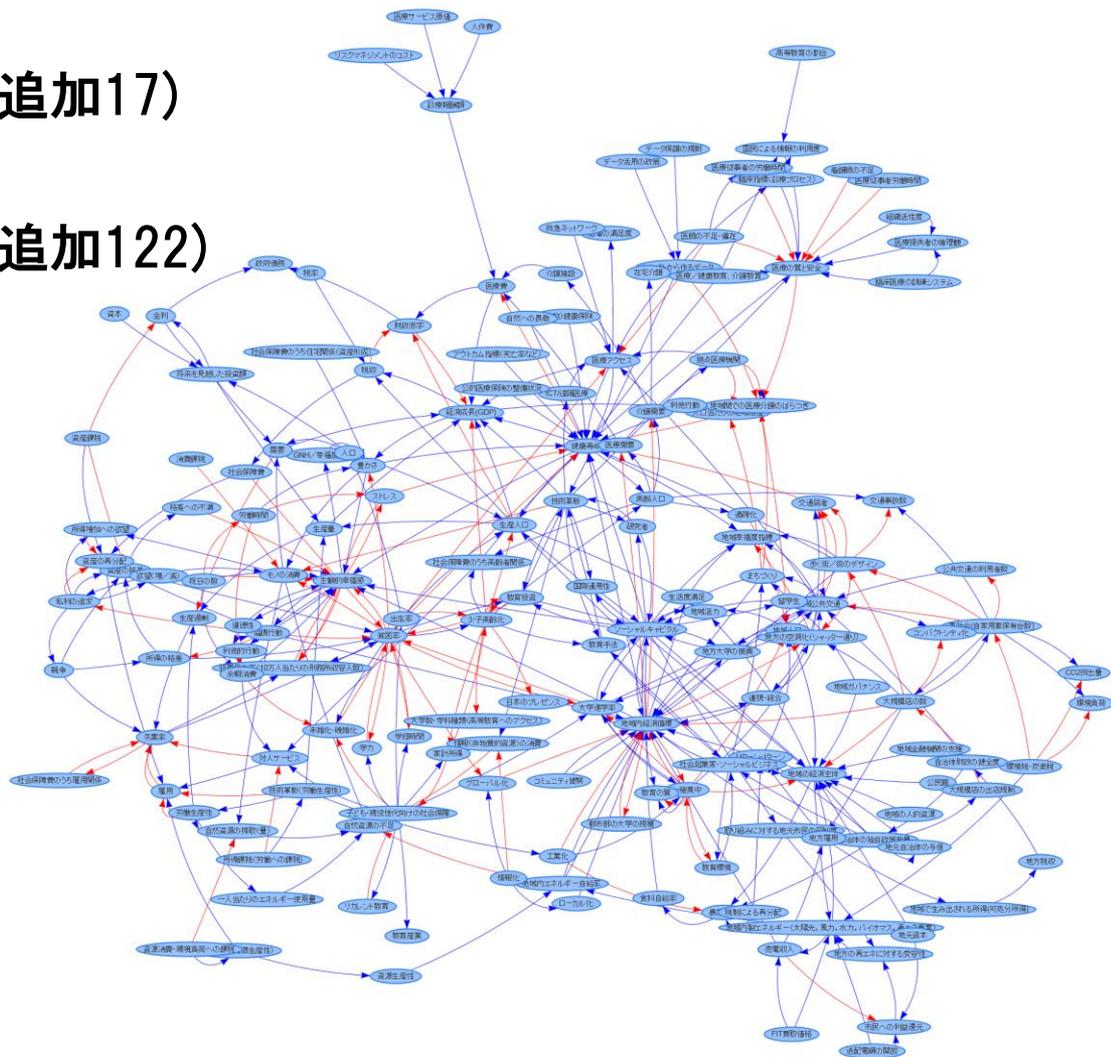
◆ 構築した定量モデル(因果関連モデル)

・指標数

166(=既存指標149+文科省追加17)

・相関(矢印)の数

455(=既存指標333+文科省追加122)



青線: 正の因果関係
赤線: 負の因果関係

◆ シミュレーションモデル

- a) 設定したパラメータ(2要素ノード間の強度・時間遅れとばらつきの値)、に合致する定量モデル(VARMAモデル※)を構築。

$$\mathbf{x}_t = \sum_{i=1}^p A_i \mathbf{x}_{t-p} + \sum_{j=0}^q B_j \boldsymbol{\varepsilon}_{t-j}$$

166次元のベクトル \mathbf{x}_t 166次元の乱数ベクトル $\boldsymbol{\varepsilon}_{t-j}$
166x166行列 A_i

(ただし、 $p = 2, q = 1$)

※ Vector Autoregressive Moving Averageモデル
経済系のモデル(株価や各種の経済指標等)としてよく使われている。

- b) fixed-sample-path微分を用いた確率的最適化により行列 A_i, B_j を定める。

パラメータ総数 = 約11万個

c) パラメータ値の調整

仮シミュレーションを実施し、結果が、各種のデータ(人口動態予測等)と合致するようにパラメータを修正／結果をフィルタリング。



情報収集
ステージ
(モデル化)

問題設定

2040年に向けた
高等教育の
グランドデザイン

情報収集

人(有識者)の
知の蓄積

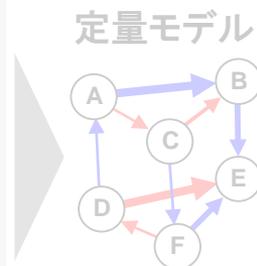
情報体系化

因果洗い出し

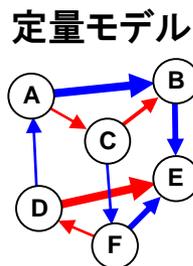
係数設定

□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□□	□□□□	□□□□	□□□□

統計データの利用



選択肢検討
ステージ
(解析)



①シナリオ列挙

多数シナリオ
シミュレーション

シナリオ分類

2万シナリオ

②関係性検討

分岐構造解析

③要因検討

分岐要因解析

シナリオ比較／価値判断

政策提言

□	□	□	□	□	□
□	□	□	□	□	□
●	□	□	□	□	□
●	□	□	□	□	□
●	□	□	□	□	□

戦略選択
ステージ
(政策提言)

◆ AIを活用したシナリオ列挙プロセス

人が思い描けるシナリオには漏れ・偏りがある

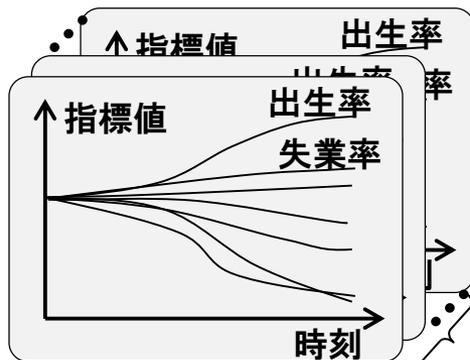
➡ AIの活用により、将来起こり得るシナリオを、抜け／偏りなく列挙することが可能。

◆ 多数シミュレーション機能

目的： 将来起こり得るシナリオを
漏れなく列挙する

方法：

- ・作成したモデルをもとに、
2万回のシミュレーションを実行。
- ・35年間(2018～2052年)



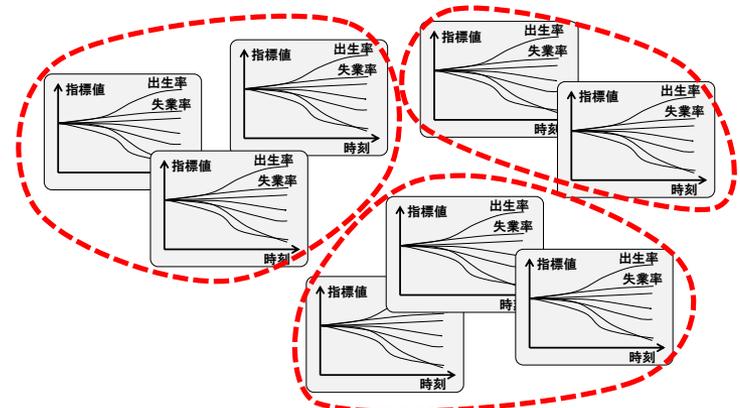
2万シナリオ

◆ シナリオ分類機能

目的： 少数の偏りのない
代表シナリオを抽出する

方法：

- ・2万シナリオを、23個に分類。
(類似シナリオのグループ化)



3-3 将来シナリオの例



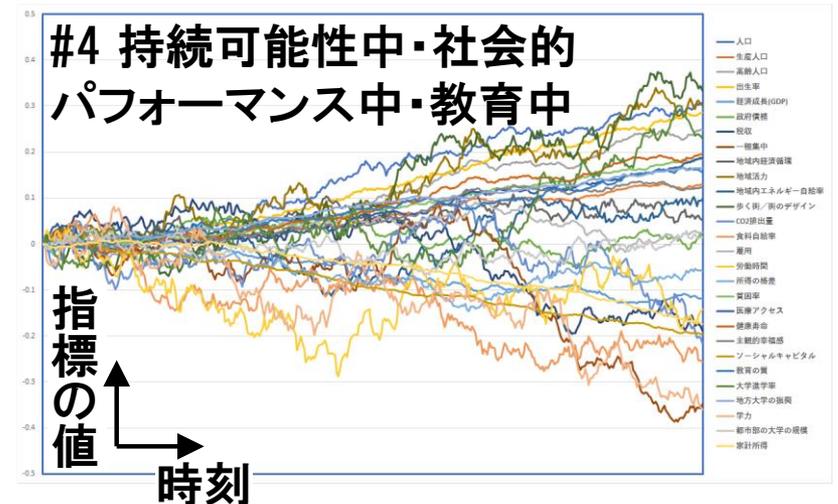
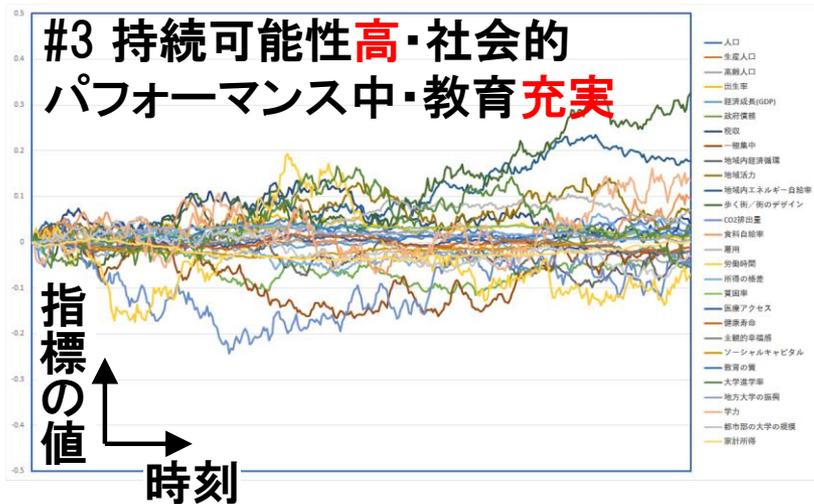
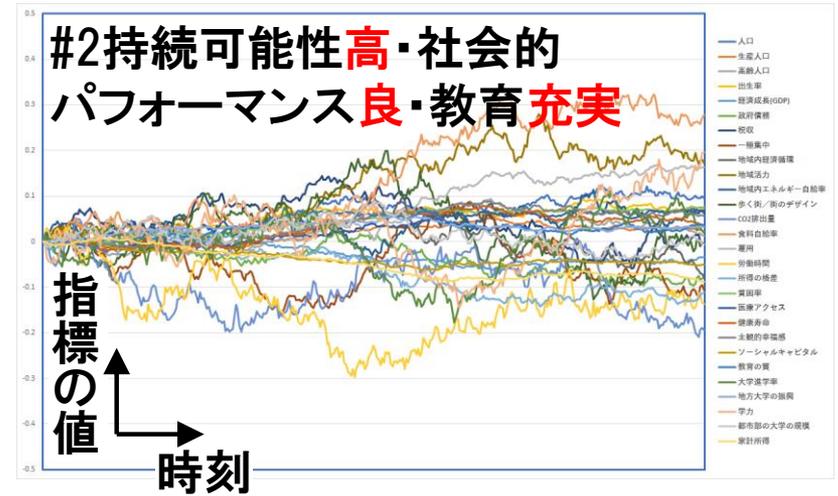
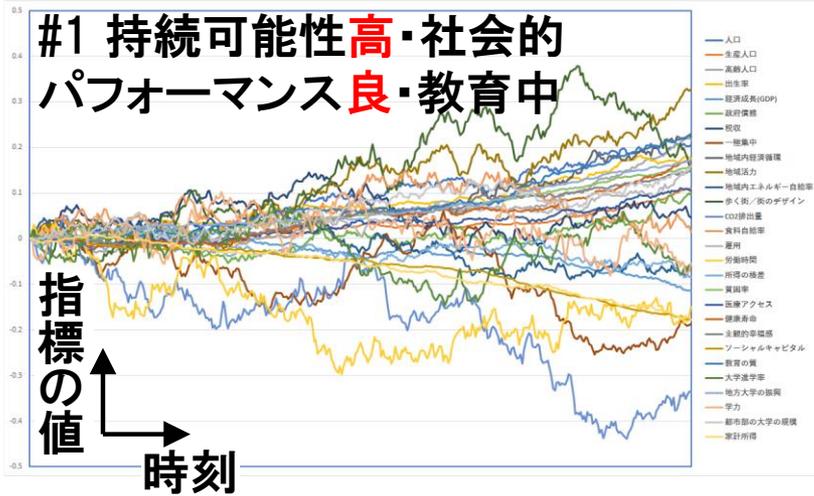
文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN



HITACHI
Inspire the Next

◆ 各グループの代表的なシナリオ例



3-3 将来シナリオの例



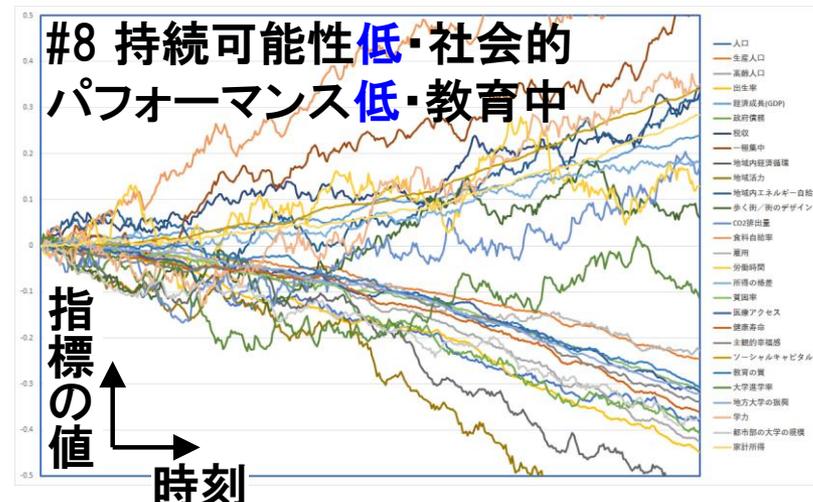
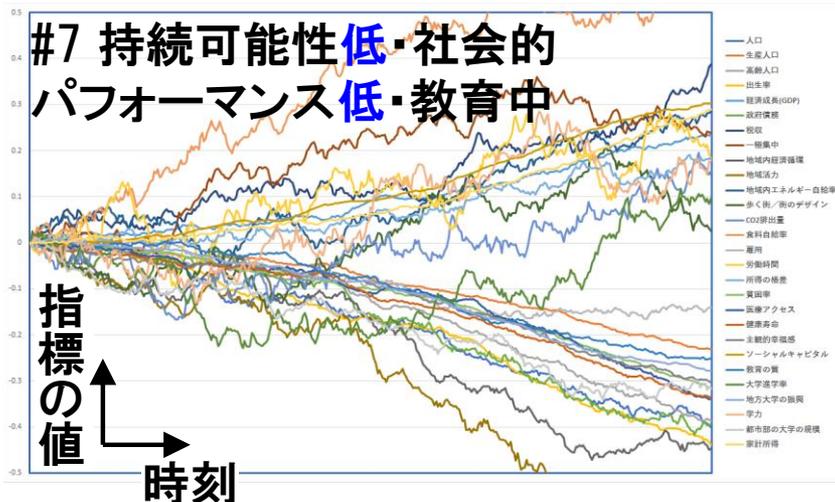
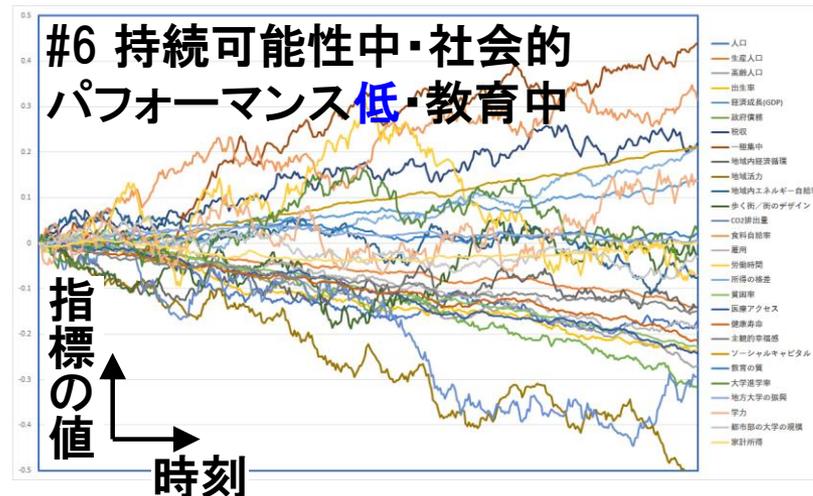
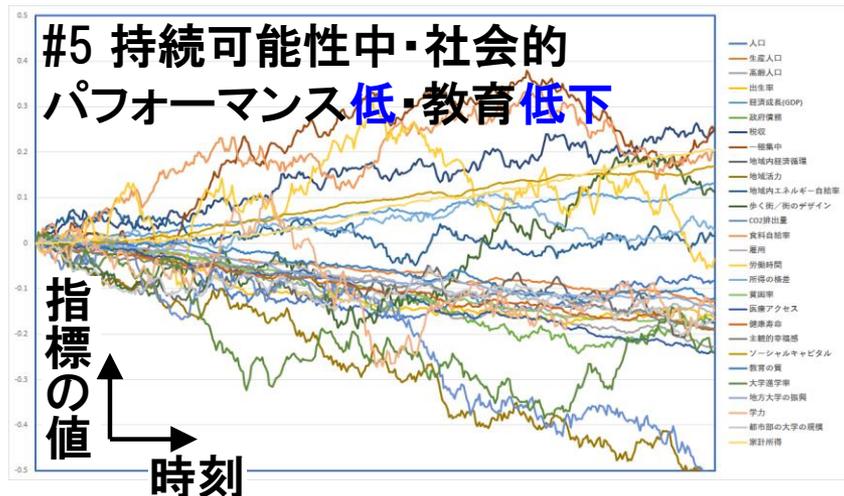
文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN



HITACHI
Inspire the Next

◆ 各グループの代表的なシナリオ例



◆ 各グループの代表シナリオを人(有識者)が解釈し意味付け

2050年の状態を、

4(人口、財政、地域、環境・資源)+4(雇用、格差、健康、幸福)+1(教育)で評価

各シナリオの解釈結果

シナリオ #	人口	財政	地域	環境資源	雇用	格差	健康	幸福	教育	解釈	
<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; color: red;"> 持続可能・ 地方分散(均衡発展)型 グループ </div>	1	○	△	○	○	△	○	△	△	持続可能性高・社会的パフォーマンス良・教育中	
	2	○	△	○	○	△	○	△	○	持続可能性高・社会的パフォーマンス良・教育充実	
	3	△	○	△	○	○	△	△	△	○	持続可能性高・社会的パフォーマンス中・教育充実
<div style="border: 1px solid purple; padding: 5px; color: purple;"> 持続不良・ 地方分散型グループ </div>	4	○	×	○	△	○	×	○	△	△	持続可能性中・社会的パフォーマンス中・教育中
	5	×	○	×	○	×	△	×	△	×	持続可能性中・社会的パフォーマンス低・教育低下
<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; color: blue;"> 持続困難・ 都市(一極)集中型 グループ </div>	6	×	○	×	○	×	△	×	△	△	持続可能性中・社会的パフォーマンス低・教育中
	7	×	○	×	△	×	△	×	△	△	持続可能性低・社会的パフォーマンス低・教育中
	8	×	○	×	△	×	△	×	△	△	持続可能性低・社会的パフォーマンス低・教育中

3-5 シナリオ分岐の様子



持続不良・地方分散型グループ

シナリオ #4

シナリオ #3

持続可能・地方分散(均衡発展)型グループ

シナリオ #1

シナリオ #2

シナリオ #6

シナリオ #5

シナリオ #8

シナリオ #7

持続困難・都市(一極)集中型グループ

◆ AIを活用した関係性検討プロセス

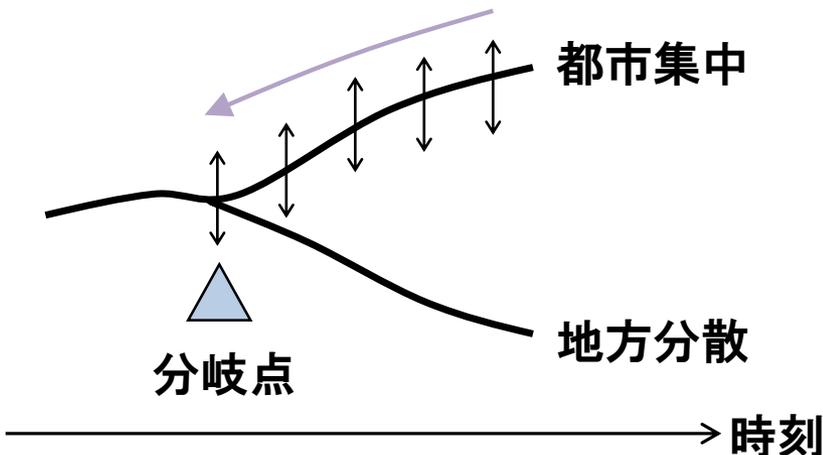
人は、将来のいろいろな出来事の関係性を考えることが苦手

⇒ AIの活用により、シナリオ間の分岐が、いつ、どのような順番で、発生するかが分かる。

◆ 分岐構造解析技術

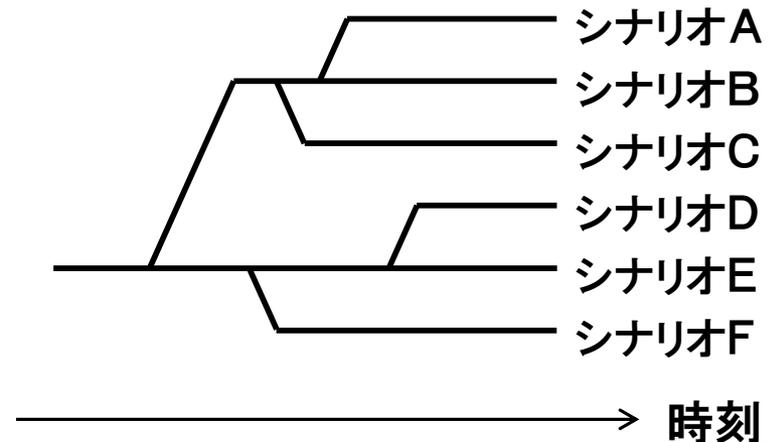
・バックキャスト解析

時間を遡りながら、摂動を加えてシミュレーションを繰り返すことで2つのシナリオ間の分岐点を特定。

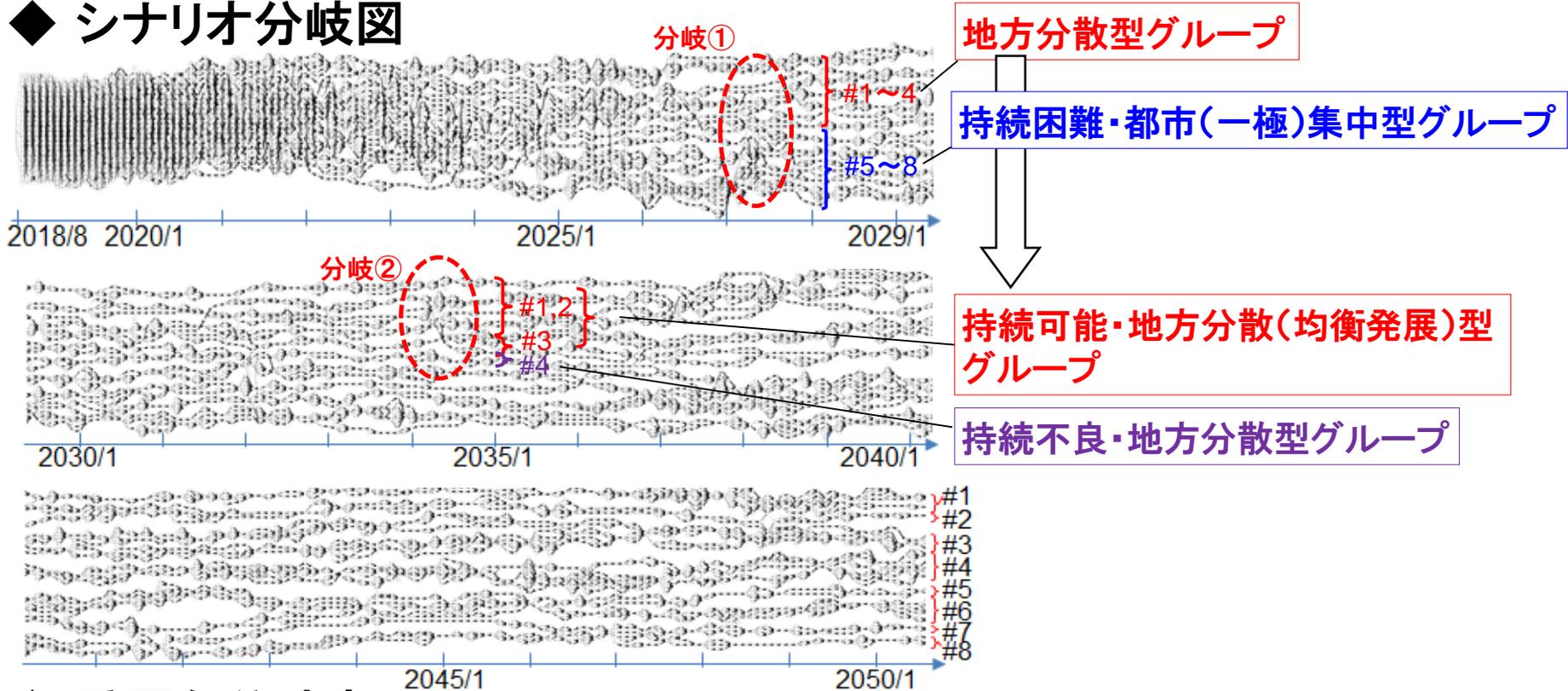


・シナリオ分岐木の構築

複数のシナリオ間の分岐構造を木構造として表す。



◆ シナリオ分岐図



◆ 重要な分岐点

分岐① (9~10年後): 地方分散型グループと持続困難・都市(一極)集中型グループが分岐する。以降、2つのグループが再び交わることはない。

分岐② (16~17年後): 地方分散型グループは持続可能・地方分散(均衡発展)型グループと持続不良・地方分散型グループに分岐する。

◆ AIを活用した要因検討プロセス

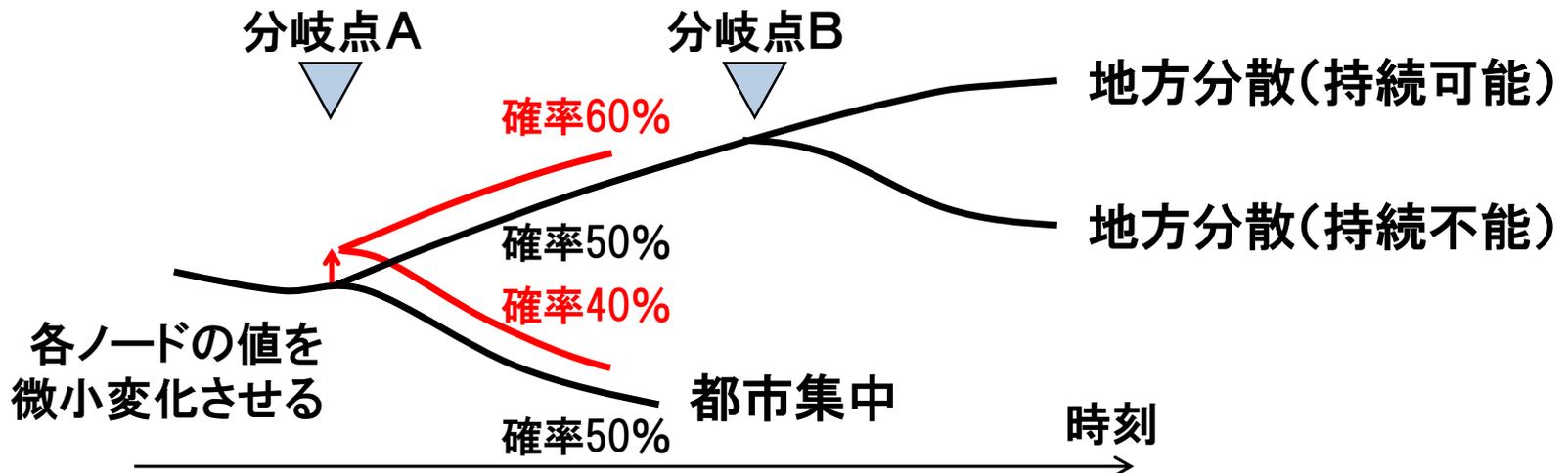
シナリオの分岐が、どうして発生するのか知りたい。

- ➡ AIの活用により、シナリオの分岐に影響を与える要因が分かる。
- ➡ 望ましいシナリオに誘導する、具体的な政策の提言が可能。

◆ 分岐要因解析技術

・シナリオ分岐点における感度解析

シナリオ分岐点において、各ノード(指標)の値を微小に変化させ、特定のシナリオの実現確率がどれだけ変化するか(感度)を調べる。



◆ 分岐点①(地方分散型グループと持続困難・都市(一極)集中型グループの分岐)の要因解析結果

#1～#4シナリオに誘導するには
高等教育関連政策として、

- ・大学進学率の向上
 - ・教育投資の充実
 - ・留学生の確保
 - ・研究者の確保・育成
 - ・地方大学の振興
- を進めることが有効。

分岐点① #1～#4へ導く要因

要因
Top20

要因	感度
地域公共交通	0.013076908
人口	0.012329842
道徳性	0.012127230
出生率	0.008395354
地域人口	0.007171187
利他的行動	0.006658477
地元資本	0.006431729
環境税・炭素税	0.006316912
利他行動	0.006293686
地域で生み出される所得(可処分所得)	0.006269047
歩く街/街のデザイン	0.006163602
FIT買取価格	0.006154419
Uターン・Iターン	0.005897378
地域の経済主体	0.005495843
資産の再分配	0.005389372
グローバル化	0.004891949
自治体の独自政策裁量	0.004771096
大学進学率	0.004695080
豊かさ	0.004260078
健康寿命	0.003743326
教育投資	0.000463646
留学生	0.000352500
研究者	0.000350046
地方大学の振興	0.000281917

◆ 分岐点②(持続可能・地方分散(均衡発展)型グループと持続不良・地方分散型グループの分岐)の要因解析結果

#1～#3シナリオに誘導するには
高等教育関連政策として、

- ・一定程度の都市部の大学の規模の確保
- ・大学進学率の向上
- ・教育投資の充実
- ・リカレント教育
- ・国際通用性

を進めることが有効。

分岐点② #1～#3へ導く要因

要因	感度
医療アクセス	0.008515672
都市部の大学の規模	0.004108602
豊かさ	0.004005266
人口当たりの地域格差	0.003848684
健康寿命	0.003777018
情報化	0.003503970
地域内経済循環	0.002515220
工業化	0.002384134
アウトカム指標(死亡率など)	0.002137506
人口	0.002092126
技術革新(労働生産性)	0.002011559
税制による再分配	0.001755339
一極集中	0.001681199
自治体財政の健全度	0.001535900
技術革新	0.001436585
歩く街/街のデザイン	0.001416268
大学進学率	0.001142829
税金	0.000901105
医師の不足・偏在	0.000867049
医療の質と安全	0.000765006
教育投資	0.000361835
リカレント教育	0.000291665
国際通用性	0.000112196

要因
Top20

1) 2万通りのシミュレーションは、大きく8つのシナリオに収斂。

これを大括りで区分すると未来の日本(2050年)は、大きく3つのグループにまとめられた。

- 「持続可能性が高く、社会的パフォーマンスも高く、高等教育も充実している」良好なグループ(シナリオ1,2,3) 持続可能・地方分散(均衡発展)型グループ
- 「持続可能性は中程度、社会的パフォーマンスも中程度、高等教育の充実も中程度」のグループ(シナリオ4) 持続不良・地方分散型グループ
- 「持続可能性は低く、社会的パフォーマンスも低く、高等教育の充実もしていない」グループ(シナリオ5,6,7,8) 持続困難・都市(一極)集中型グループ

2) また、これらのシナリオは、

- 9年～10年後(2027年～2028年)頃の段階でシナリオ1,2,3,4と5,6,7,8が分岐し、その後交わらないこと、
- 16年～17年後(2034年～2035年)頃の段階でシナリオ1,2,3とシナリオ4が分岐すること

が確認された。

- 1) 高等教育の質の向上・充実は、持続可能性や社会的パフォーマンスに寄与する度合いが高く、2040年の将来を見据えた場合、9年～10年後(2027年～2028年)頃までに答申案で提言されている改革を着実に実行することが重要。
- 2) より詳細に分析すると、シナリオ5,6,7,8は、「人口」や「地域」のマイナス等が顕著である一方、「教育」関連の指標の中でも「教育の質」「大学進学率」「地方大学の振興」が明らかにマイナス。
「教育の質」「大学進学率」「地方大学の振興」を重視していくことが持続可能性や社会的パフォーマンスに寄与する度合いが高いと言える。
- 3) 今回のシナリオ分岐は「都市(一極)集中型」か「地方分散(均衡発展)型」という軸とも関連し、シナリオ5,6,7,8は「都市集中型」、シナリオ4は「持続可能性が低い(持続不良)地方分散型」、シナリオ1,2,3はその中間のバランスのとれた姿と言え、高等教育の望ましい充実・強化が、地方を含めた日本全体の均衡ある発展につながる。

4) さらにシナリオが分岐する要因を分析すると、

- 9年～10年後(2027年～2028年)頃にシナリオ5,6,7,8に進まないためには、高等教育関連政策としては、要因として寄与度が高い「大学進学率の向上、教育投資の充実、留学生の確保、研究者の確保・育成、地方大学の振興」を進めることが必要。
- 16年～17年後(2034年～2035年)頃にシナリオ4に進まないためには、要因として寄与度が高い「一定程度の都市部の大学の規模の確保、大学進学率の向上、教育投資の充実、リカレント教育の推進、国際通用性の確保」を進めることが必要。