

AIを活用した政策提言策定への挑戦

～国や自治体の戦略的な政策決定への活用に向けて～

2018/10/16

株式会社日立製作所 研究開発グループ基礎研究センタ
日立京大ラボ
福田 幸二

1. 日立京大ラボの紹介

- ・日立製作所 基礎研究センタのオープンイノベーション戦略

2. 政策提言について

- ・共同研究の経緯
- ・問題意識
- ・提言内容

※ 京都大学こころの未来研究センター 広井先生の資料抜粋

3. 開発した人工知能(AI)技術の詳細

- ・AI に関する考え方
- ・開発技術

4. まとめ、今後の展開

1. 日立京大ラボの紹介

- ・日立製作所 基礎研究センタのオープンイノベーション戦略

2. 政策提言について

- ・共同研究の経緯
- ・問題意識
- ・提言内容

※ 京都大学こころの未来研究センター 広井先生の資料抜粋

3. 開発した人工知能(AI)技術の詳細

- ・AI に関する考え方
- ・開発技術

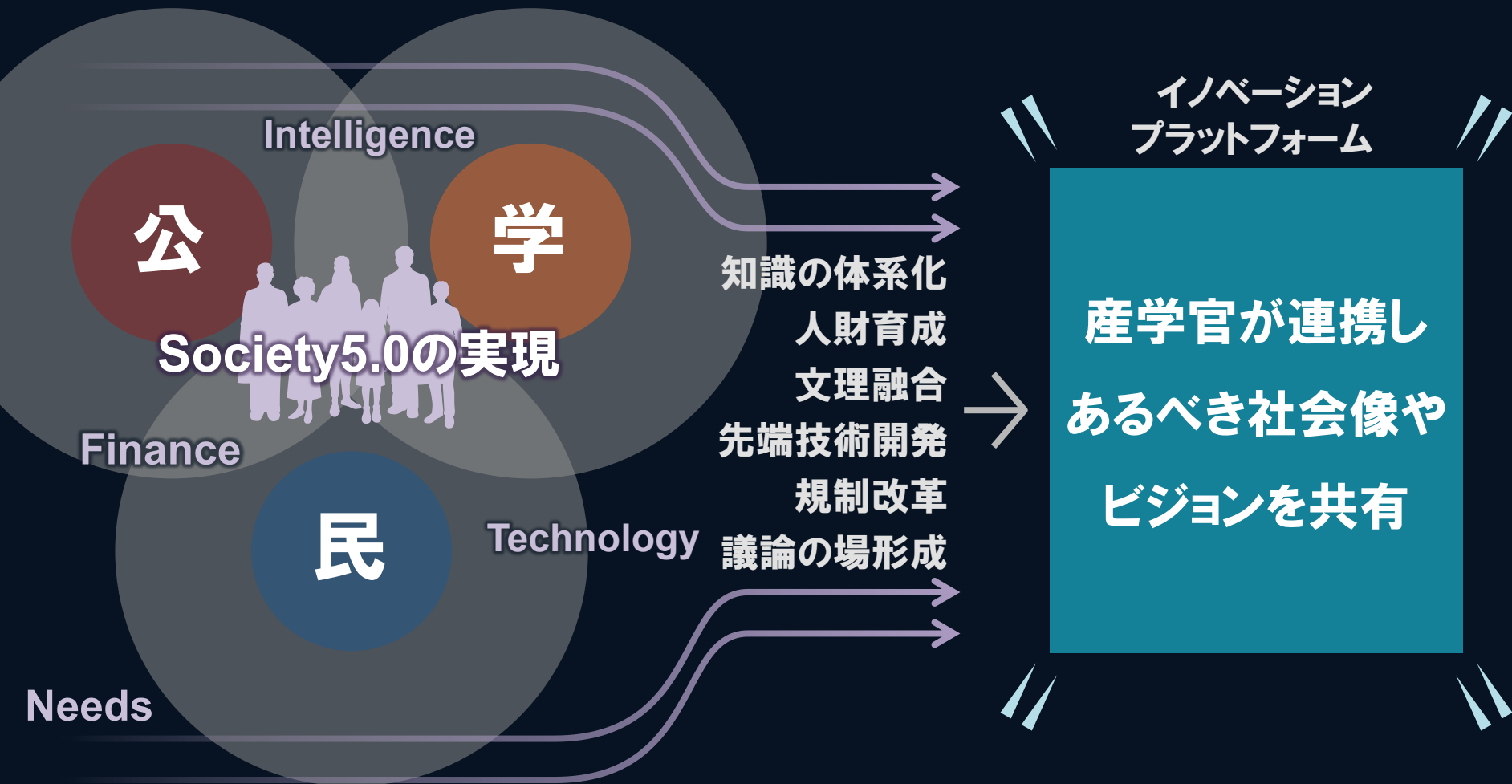
4. まとめ、今後の展開

社会課題の解決と経済成長の両立： 人間中心の高QoL社会



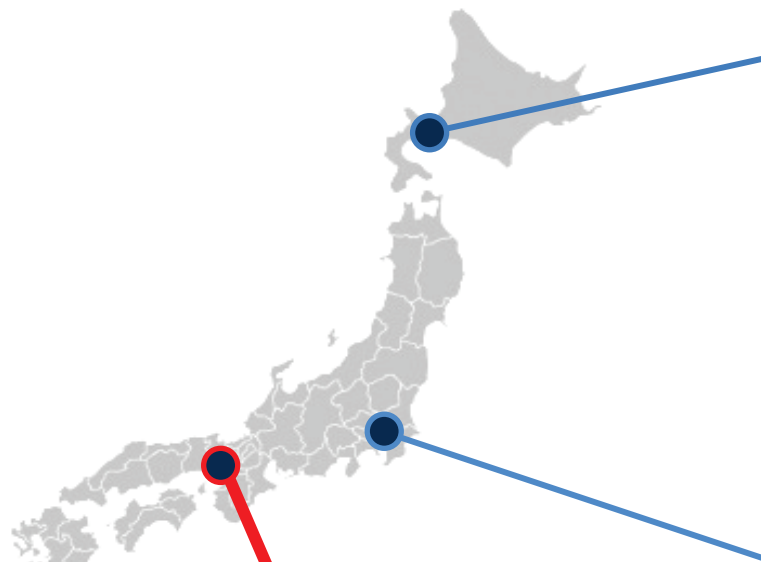
1-2. オープンイノベーションで迅速なインキュベーション

産学官、国や地域の枠や壁を越えたアプローチが不可欠に



1-3. 大学共同研究拠点

大学の豊富なイノベーション資源と連携し、Society 5.0を加速



日立北大ラボ

課題先進地域のソリューション

- ・ エリアデザイン・北方域
- ・ 食と健康
- ・ 社会創造数学モデル

日立京大ラボ

未来課題探索

- ・ 2050年の大学と企業
- ・ 進化する人工知能
- ・ 基礎物理

日立東大ラボ

Society 5.0ビジョン形成

- ・ 社会イノベーション政策
- ・ 異分野融合型共同研究

1 日立京大ラボ

- 京大国際科学イノベーション棟に開設(2016/6月)
- 京大産官学連携本部へ
10名の日立研究員が常駐(うち2名は京大特定教員)



2 研究テーマ

ヒトと文化の理解に基づく基礎と学理の探究

- 2050年の社会課題、解決に向けた大学と企業の社会的価値提言
- ヒトや生物の進化に学ぶ人工知能
- 基礎物理のための最先端計測

1. 日立京大ラボの紹介

- ・日立製作所 基礎研究センタのオープンイノベーション戦略

2. 政策提言について

- ・共同研究の経緯
- ・問題意識
- ・提言内容

※ 京都大学こころの未来研究センター 広井先生の資料抜粋

3. 開発した人工知能(AI)技術の詳細

- ・AI に関する考え方
- ・開発技術

4. まとめ、今後の展開

2013年頃

- ・企業や組織の経営者向けの戦略検討AIの研究を開始。

2016年

- ・日立京大ラボ設立。
- ・京都大学広井先生との共同研究の中で、
将来の日本の持続可能性の検討に、AI技術を利用できないか
というアイデアをいただく。
- ・京都大学人文・社会学系の4人の先生方にご協力いただき、
試行を開始。

京都大学

こころの未来研究センター	教授	広井 良典	(公共政策・科学哲学)
経済学研究科	教授	諸富 徹	(財政学・環境経済学)
こころの未来研究センター	准教授	内田 由紀子	(社会心理学・文化心理学)
医学研究科	教授	今中 雄一	(医療経済学)

2050年、日本は持続可能か？

広井良典(京都大学こころの未来研究センター教授)

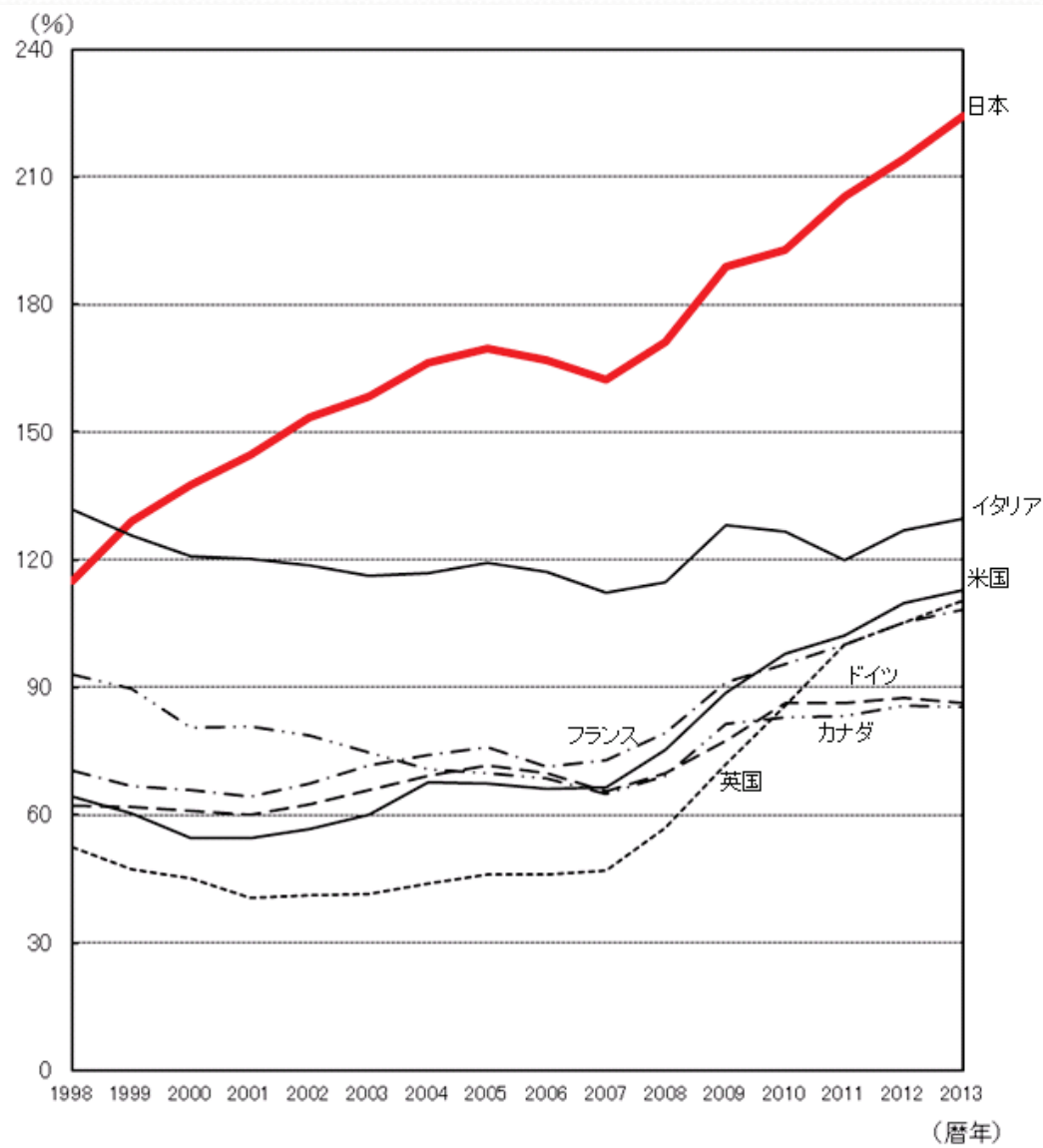
hiroi.yoshinori.su@kyoto-u.ac.jp

日本社会の「持続可能性」を危うくしているものは？

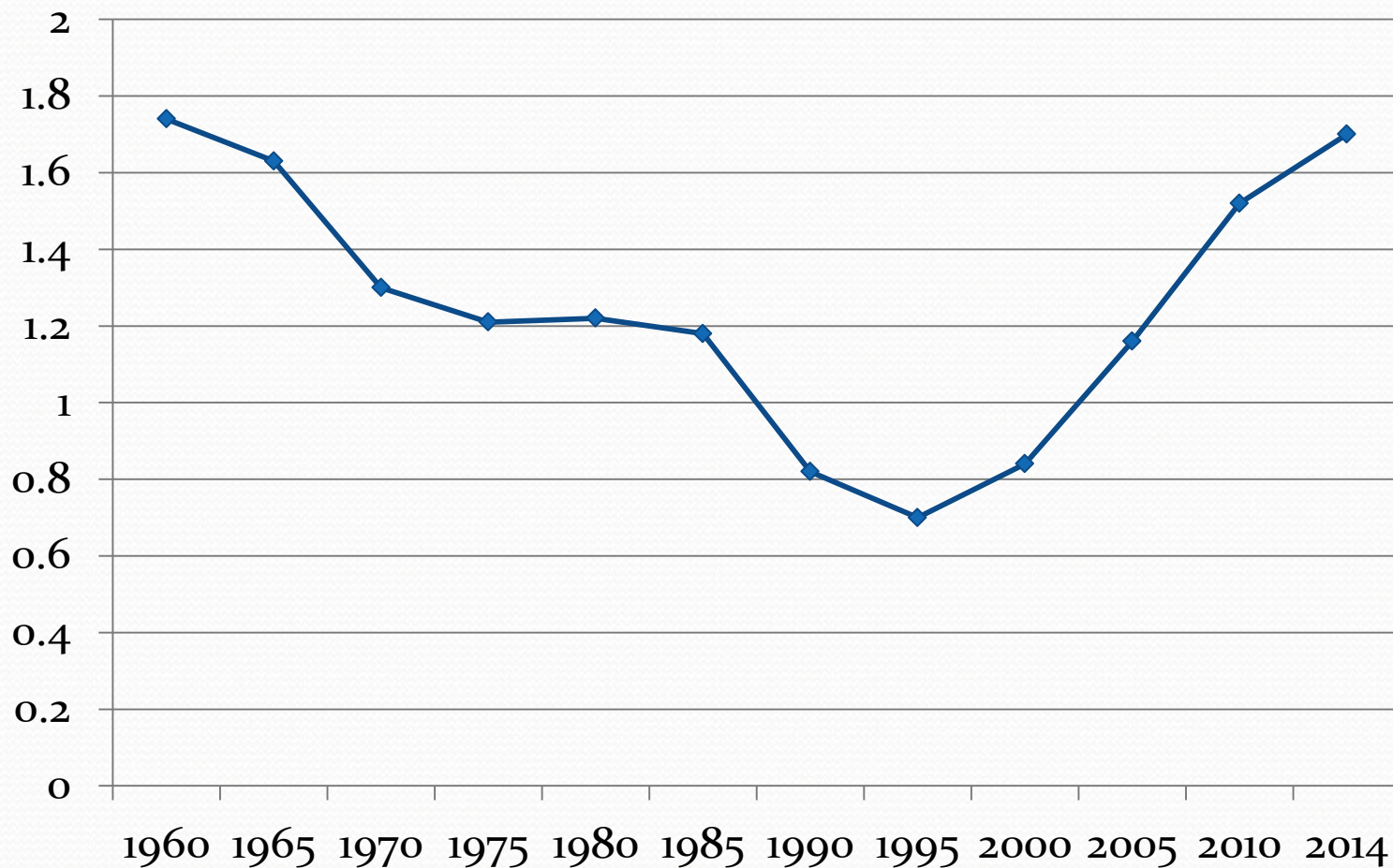
- 1) 債務残高の累積と将来世代への先送り
- 2) 貧困世帯割合の増加(90年代後半以降)と格差拡大
～若年世代の困窮や子ども・若者への支援[人生前半の
社会保障(含教育)の薄さ → 低出生率、少子化
- 3) 社会的孤立度の高さやコミュニティの希薄化

債務残高の国際比較(対GDP比)

・・・日本が突出



日本：生活保護を受けている者の割合 (保護率)の推移(%)

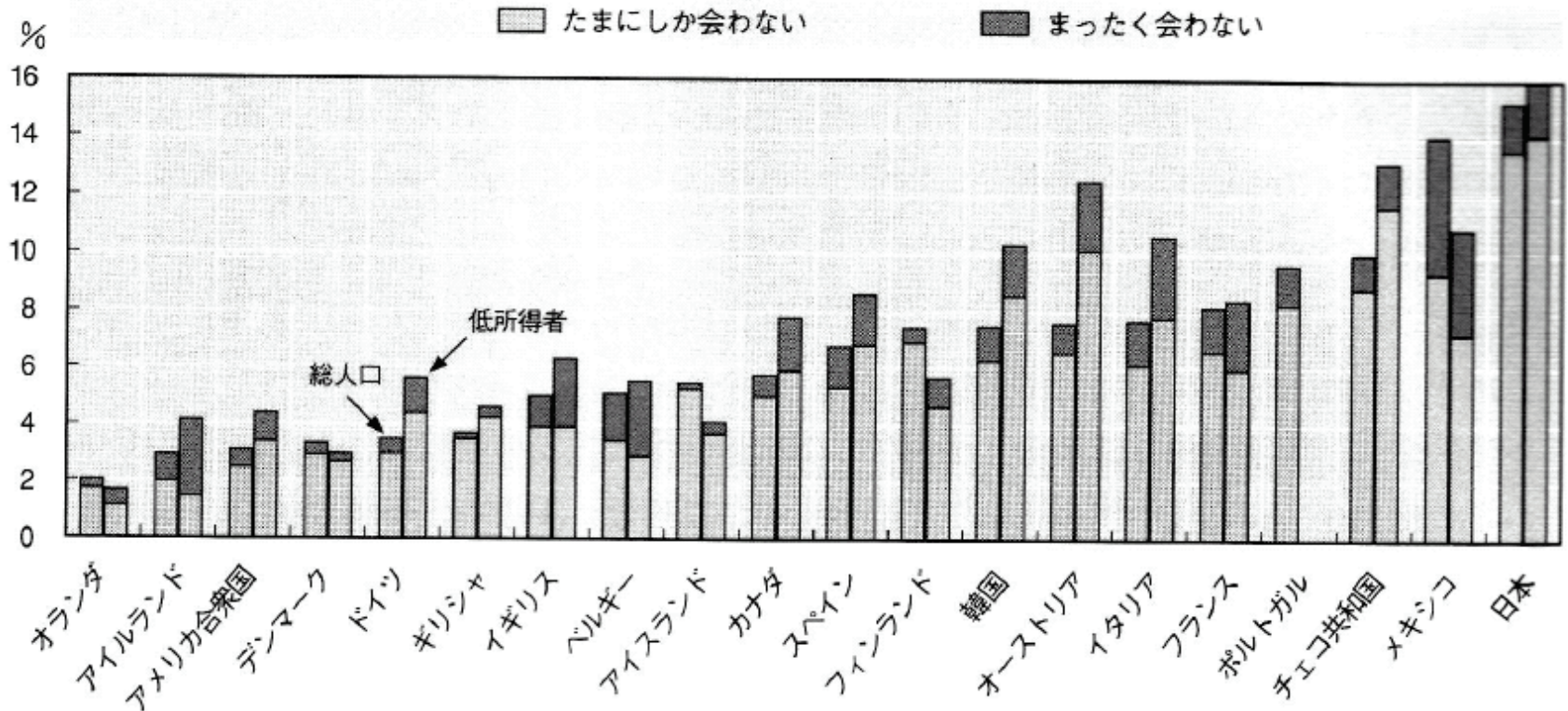


(出所)厚生労働省社会・援護局「被保護者調査」

先進諸国における社会的孤立の状況

…日本はもっとも高。個人がばらばらで孤立した状況

図1.3 OECD加盟国における社会的孤立の状況 2001年



注：この主観的な孤立の測定は、社交のために友人、同僚または家族以外の者と、まったくあるいはごくたまにしか会わないと示した回答者の割合をいう。図における国の並びは社会的孤立の割合の昇順である。低所得者とは、回答者により報告された、所得分布下位3番目に位置するものである。

出典：World Values Survey, 2001.

2050年へのシナリオ とビジョン・政策選択

- A) 持続可能シナリオ
- B) 破局シナリオ・・・財政破綻、人口減少加速(←出生率低下←若者困窮)、格差・貧困拡大、失業率上昇(←AIによる代替等)、地方都市空洞化&シャッター通り、買物難民拡大(現在600～700万人)、農業空洞化
- これらについてAIも活用しつつ定量的にシミュレーション
・・・初のAIによる社会構想&政策提言。
- ①人口、②財政・社会保障、③都市・地域、④環境・資源という4つの次元の持続可能性を考慮。
- 「幸福」など主観的要素も。
- 2025年、2040年頃(高齢者数最大)、2060年頃(高齢化率最高)という節目・時間軸を視野に。

AIによる政策提言（1）

2050年に向けた未来シナリオとして主に都市集中型と地方分散型のグループがある。

a) 都市集中シナリオ

主に都市の企業が主導する技術革新によって、人口の都市への一極集中が進行し、地方は衰退する。出生率の低下と格差の拡大がさらに進行し、個人の健康寿命や幸福感は低下する一方で、政府支出の都市への集中によって政府の財政は持ち直す。

b) 地方分散シナリオ

地方へ人口分散が起こり、出生率が持ち直して格差が縮小し、個人の健康寿命や幸福感も増大する。ただし、次頁以降に述べるように、地方分散シナリオは、政府の財政あるいは環境（CO₂排出量など）を悪化させる可能性を含むため、このシナリオを持続可能なものとするには、細心の注意が必要となる。

AIによる政策提言（2）

8～10年後までに都市集中型か地方分散型かを選択して必要な政策を実行すべきである。

今から8～10年程度後に、都市集中シナリオと地方分散シナリオとの分岐が発生し、以降は両シナリオが再び交わることはない。

持続可能性の観点からより望ましいと考えられる**地方分散シナリオ**への分岐を実現するには、労働生産性から資源生産性への転換を促す環境課税、地域経済を促す再生可能エネルギーの活性化、まちづくりのための地域公共交通機関の充実、地域コミュニティを支える文化や倫理の伝承、住民・地域社会の資産形成を促す社会保障などの政策が有効である。

AIによる政策提言（3）

持続可能な地方分散シナリオの実現には、**約17～20年後**まで継続的な政策実行が必要である。

地方分散シナリオは、都市集中シナリオに比べると相対的に持続可能性に優れているが、地域内の経済循環が十分に機能しないと財政あるいは環境が極度に悪化し、②で述べた分岐の後にやがて持続不能となる可能性がある。

これらの持続不能シナリオへの分岐は17～20年後までに発生する。**持続可能シナリオ**へ誘導するには、地方税収、地域内エネルギー自給率、地方雇用などについて経済循環を高める政策を継続的に実行する必要がある。

1. 日立京大ラボの紹介

- ・日立製作所 基礎研究センターのオープンイノベーション戦略

2. 政策提言について

- ・共同研究の経緯
- ・問題意識
- ・提言内容

※ 京都大学こころの未来研究センター 広井先生の資料抜粋

3. 開発した人工知能(AI)技術の詳細

- ・AI に関する考え方
- ・開発技術

4. まとめ、今後の展開

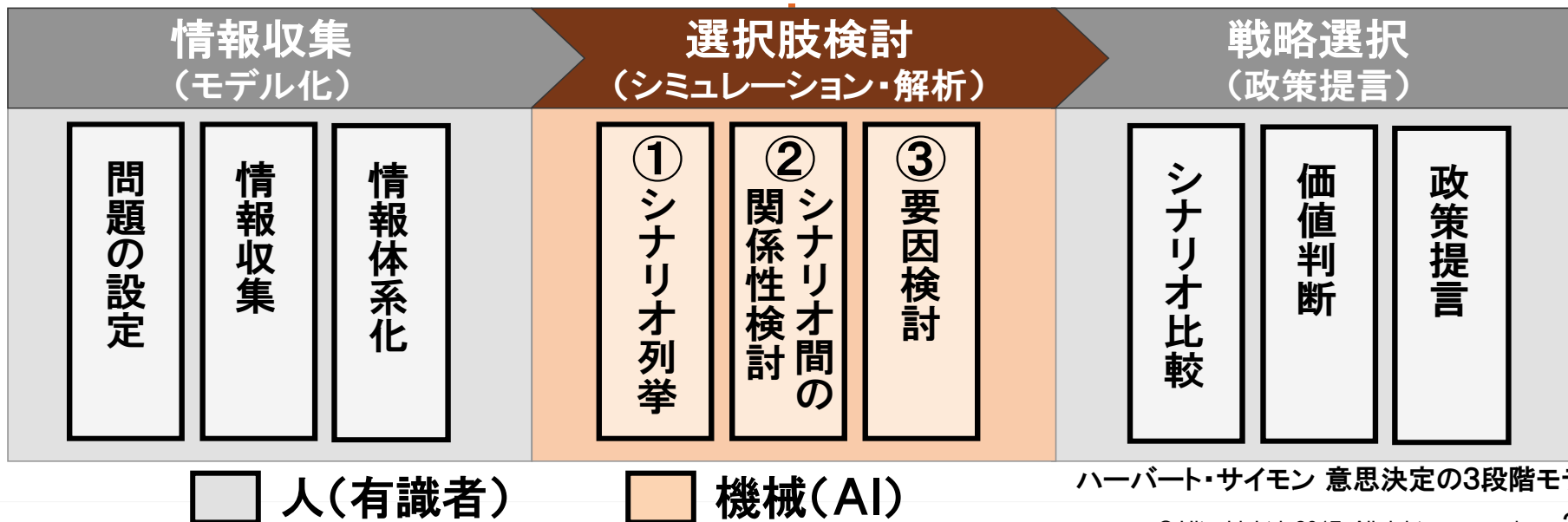
3-1. 人(有識者)と機械(AI)の協働による政策提言

◆ AI活用による効果

起こり得る未来と、そこにいたる道筋(シナリオ)を、描出すること。

政策提言の抜粋	特徴
例1: <u>都市集中シナリオ</u> と <u>地方分散シナリオ</u> の選択が…	① 予想が明確(What)
例2: <u>8~10年後</u> までに都市集中型か地方分散型を…	② 時期が明確(When)
例3: <u>環境課税</u> 、 <u>再生エネルギーの活性化</u> 、などの…	③ 政策が具体的(How)

◆ 政策提言の3ステージ



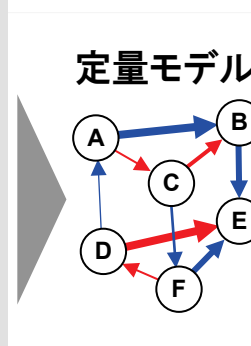
3-2. 今回の政策提言の全体フロー

情報収集 ステージ

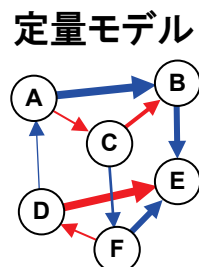
問題設定
2050年の日本の
持続可能性
の確保

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



選択枝検討 ステージ



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

シナリオ比較／価値判断

政策提言

□□□□□□□
□□□□
●□□□□□□
●□□□□
●□□□

3-3. 情報収集ステージ

情報収集 ステージ

問題設定

2050年の日本の
持続可能性
の確保

情報収集

人(有識者)の
知の蓄積

情報体系化

因果洗い出し

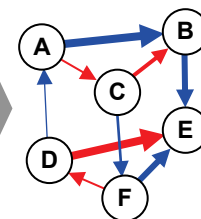


係数設定

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

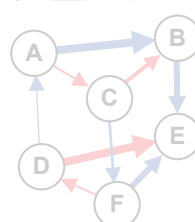
統計データの利用

定量モデル



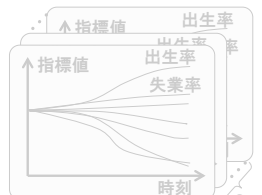
選択枝検討 ステージ

定量モデル

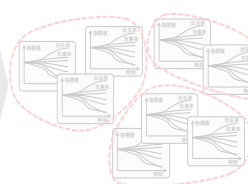


シナリオ列挙

多数シナリオ シミュレーション



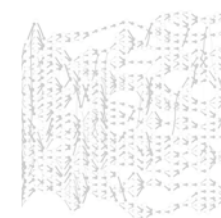
シナリオ分類



2万シナリオ

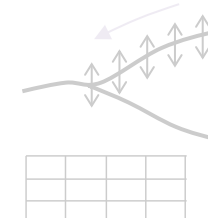
②関係性検討

分岐構造解析



③要因検討

分岐要因解析

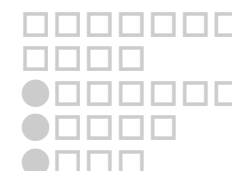


戦略選択 ステージ

シナリオ比較／価値判断



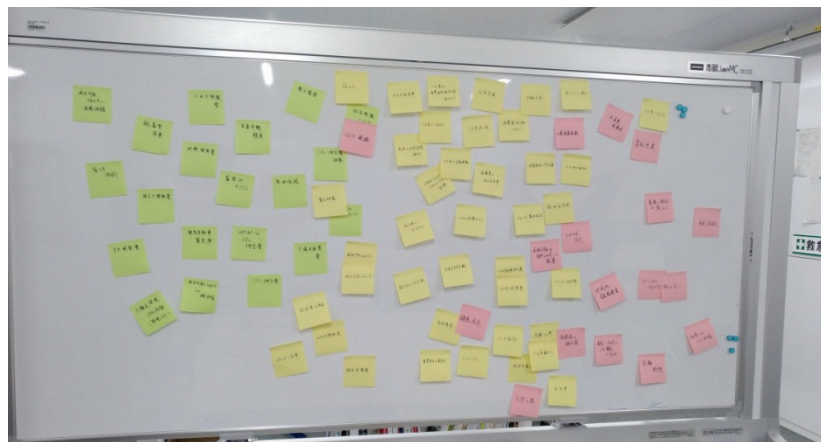
政策提言



3-4. 因果洗い出し

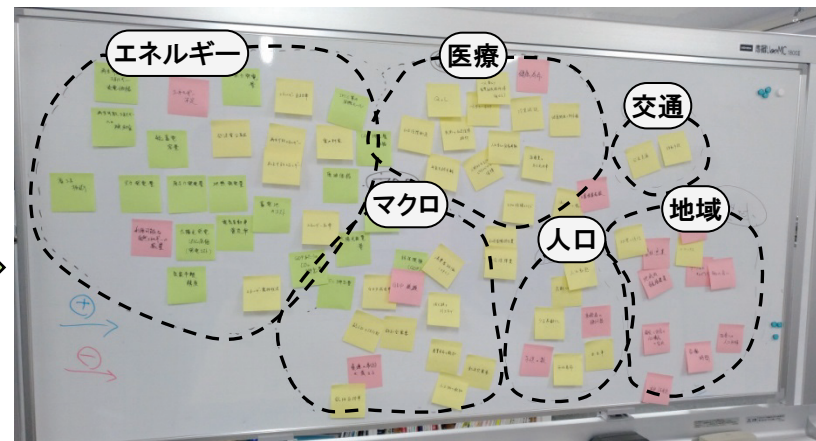
◆ ワークショップによる因果関係の洗い出し

1. キーワードの洗い出し

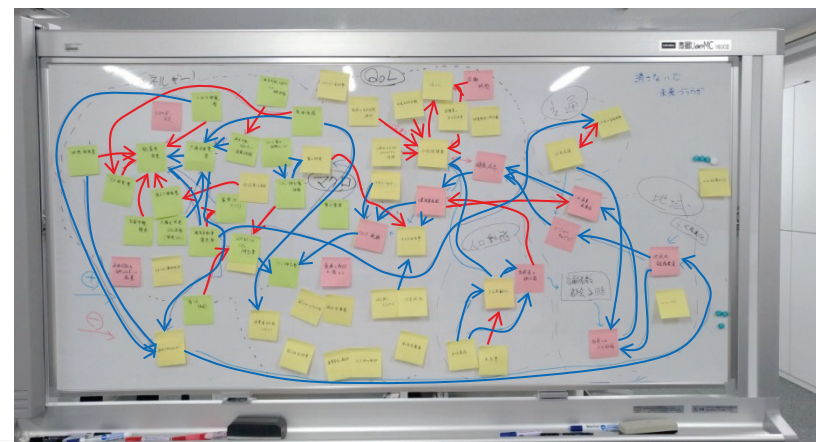


例) GDP、出生率、失業率、健康寿命、、

2. キーワードのクラスタリング



3. 因果関係を付加



青線: 正の因果関係
赤線: 負の因果関係

◆ 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。

3-6. 定量モデル構築(係数設定)

◆ 係数設定のフロー

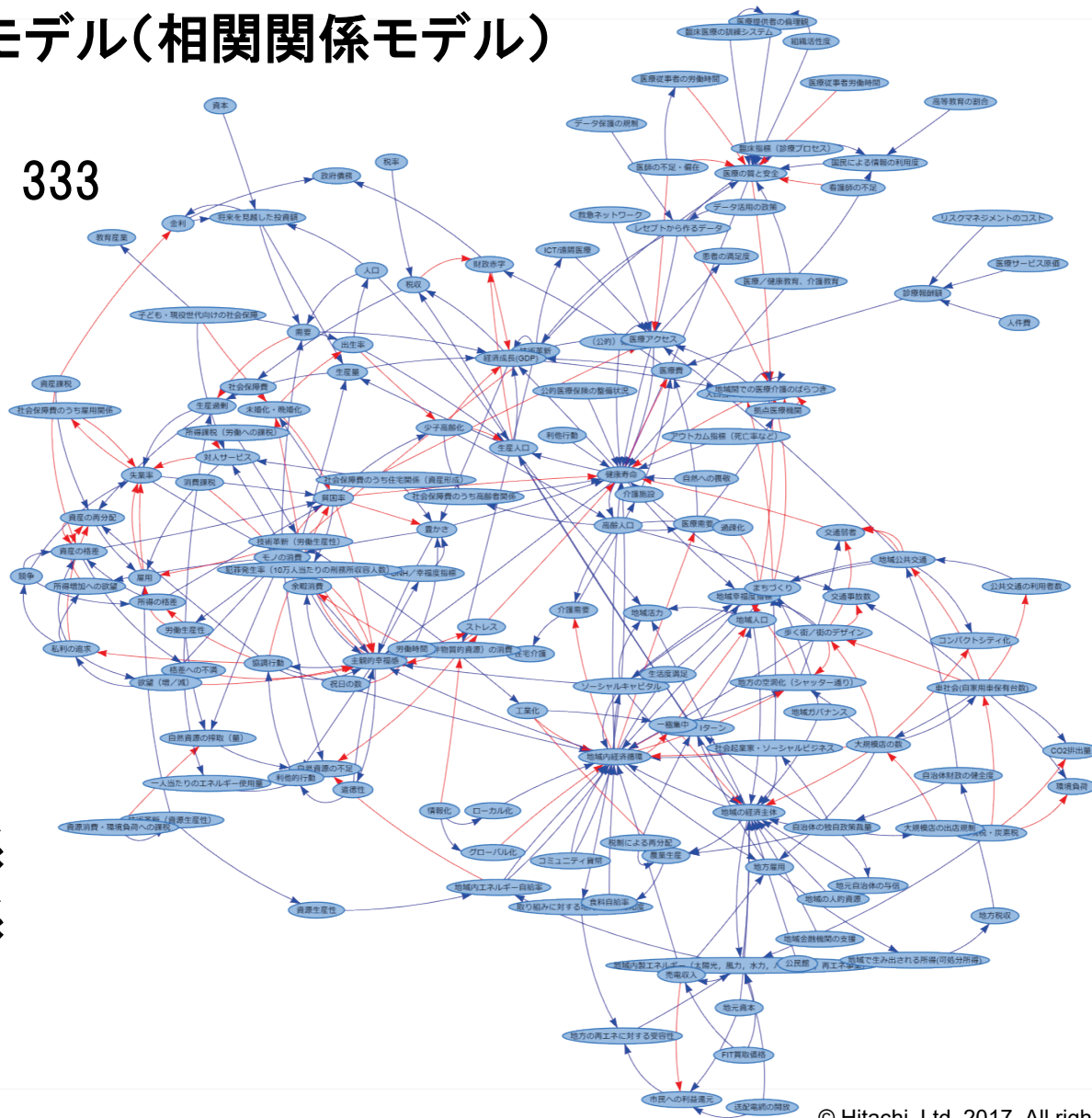
- 1) 各エッジに、人手で係数を付与。
 - ・強度(相関係数)、とその信頼度(ばらつき)
 - ・時間遅れ、とその信頼度(ばらつき)
- 2) 設定した強度・時間遅れの値をもとに、シミュレーションモデルを構築。
- 3) シミュレーション結果からモデルのパラメータを修正。
(過去の統計データを考慮する)

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・Iターン	生産人口	0.7	12	0.3	3
+	Uターン・I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

3-7. 構築した定量モデル

◆ 構築した定量モデル(相関関係モデル)

- ・指標数: 149
- ・相関(矢印)の数: 333



青線: 正の因果関係
赤線: 負の因果関係

3-8. 選択肢検討、戦略選択ステージ

情報収集 ステージ

問題設定

2050年の日本の
持続可能性
の確保

情報収集

人(有識者)の
知の蓄積

情報体系化

因果洗い出し

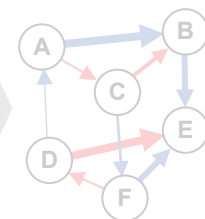


係数設定

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

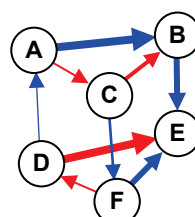
統計データの利用

定量モデル



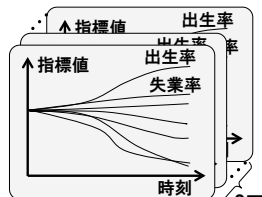
選択肢検討 ステージ

定量モデル



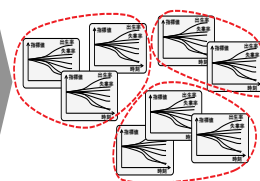
①シナリオ列挙

多数シナリオ
シミュレーション



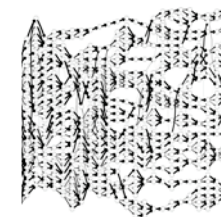
2万シナリオ

シナリオ分類



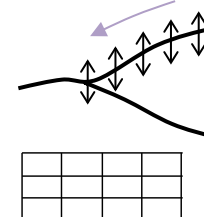
②関係性検討

分岐構造解析



③要因検討

分岐要因解析

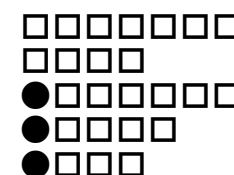


戦略選択 ステージ

シナリオ比較／価値判断



政策提言



3-9. ①シナリオ列挙

◆ AIを活用したシナリオ列挙プロセス(What)

人が思い描けるシナリオには漏れ・偏りがある

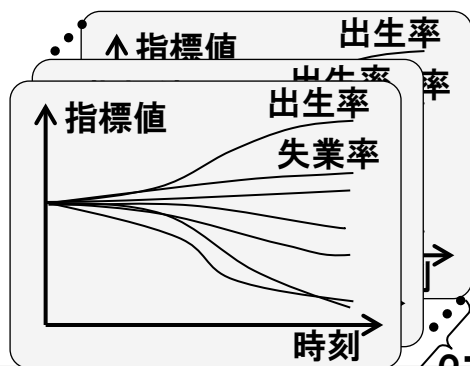
➡ AIの活用により、将来起こり得るシナリオを、抜け／偏りなく列挙できる。

◆ 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)



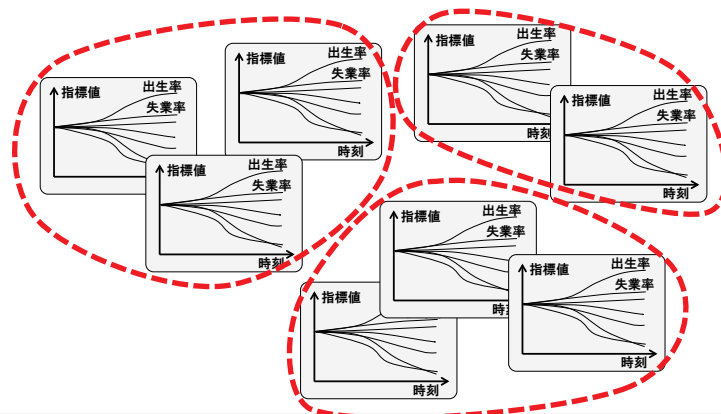
2万シナリオ

◆ 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：

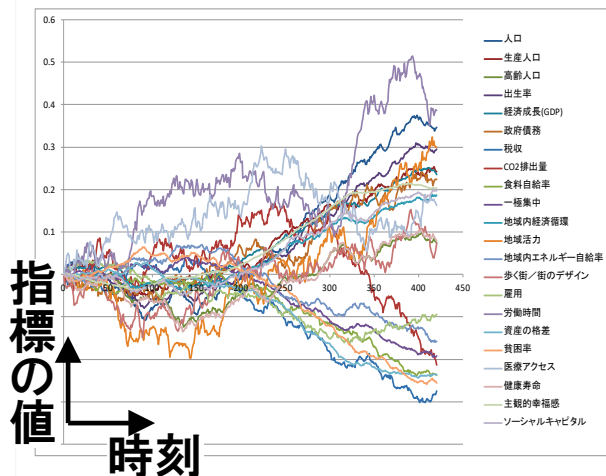
- ・2万シナリオを、23個に分類。
(類似シナリオのグループ化)



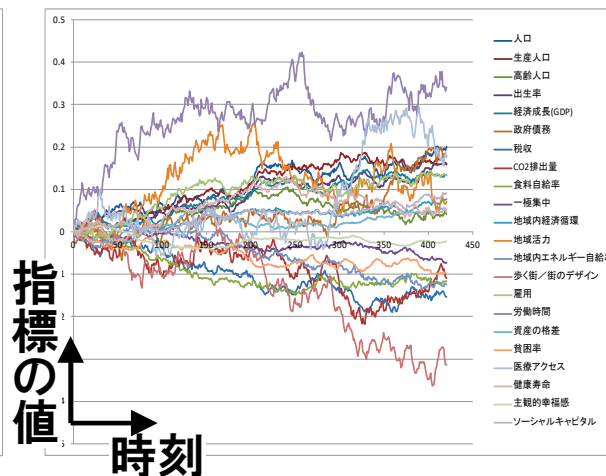
3-10. 将来シナリオの例

◆ 各グループの代表的なシナリオ例

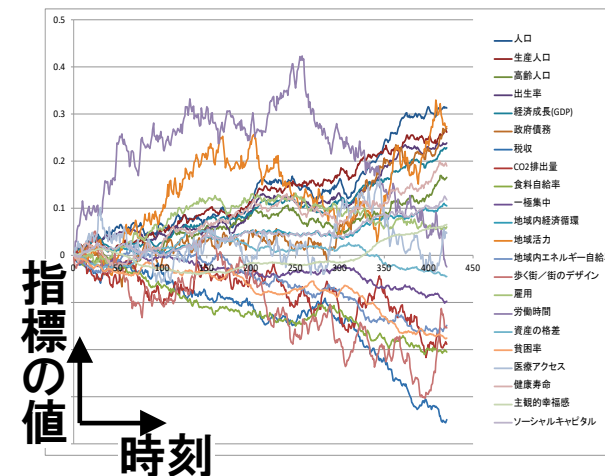
#1 地域再生・持続可能



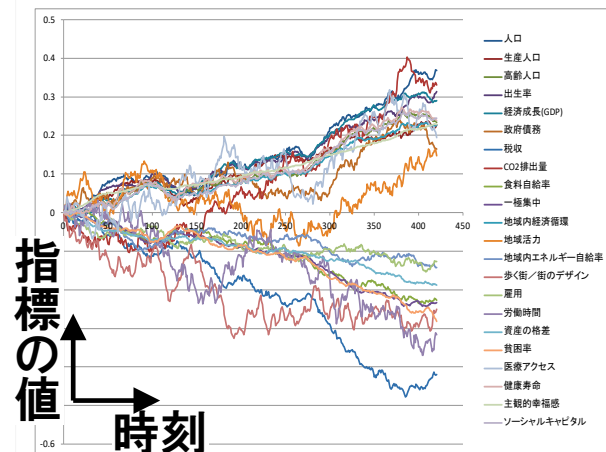
#5 持続性不良・不満



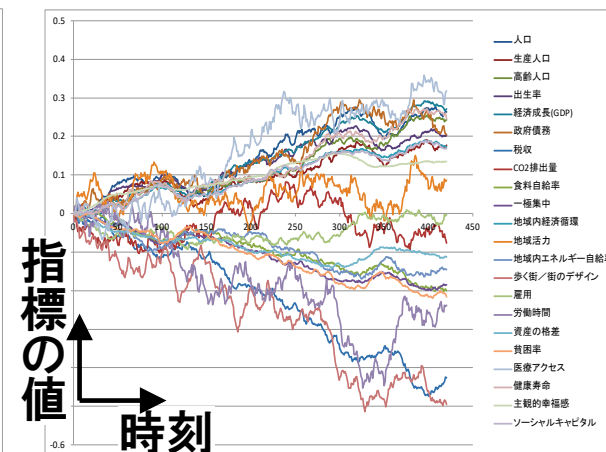
#8 人口持続可能・不満



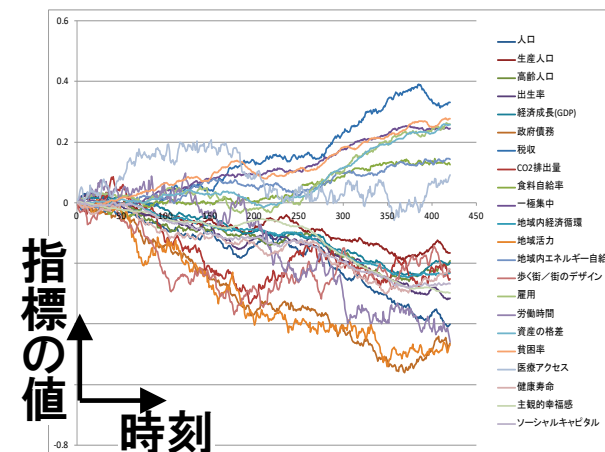
#12 環境持続不能



#16 財政持続不能



#21 都市集中



◆ 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

35年後(2052年)の状態を、
4+4つの観点(人口、財政、地域、環境・資源、雇用、格差、健康、幸福)で評価

各シナリオグループの解釈結果

シナリオ グループ#	人口	財政	地域	環境 資源	雇用	格差	健康	幸福	解釈
1~4	○	△	○	△	△	○	△	○	地域再生・持続可能 財政持続性に注意要
5~7	△	△	△	△	△	△	△	△	持続性不良・不満
8~11	○	△	△	△	△	○	△	△	人口持続可能・不満
12~15	○	△	○	×	△	○	○	○	環境持続不能
16~20	○	×	○	○	△	○	○	△	財政持続不能
21~23	×	○	×	○	○	×	×	×	都市集中・格差拡大 人口持続困難

◆ AIを活用した関係性検討プロセス(When)

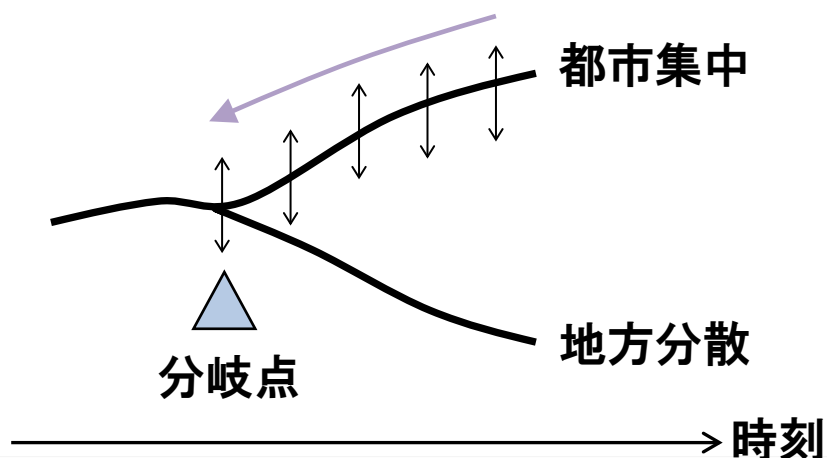
人は、将来のいろいろな出来事の関係性を考えることが苦手

➡ 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、発生するかがわかる。

◆ 分岐構造解析技術

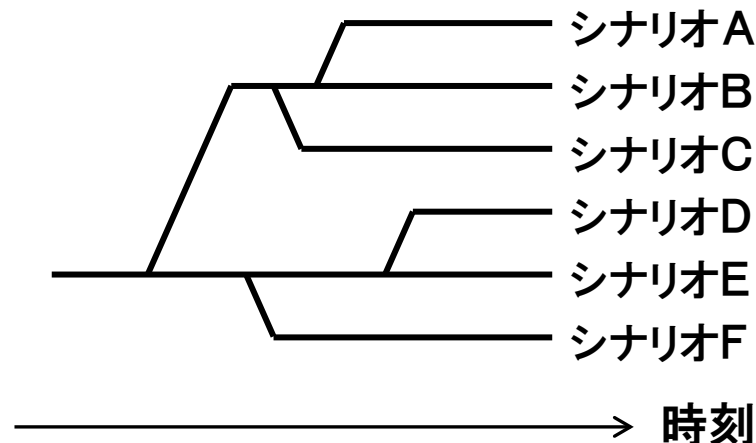
・バックキャスティング解析

時間をさかのぼりながら、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。



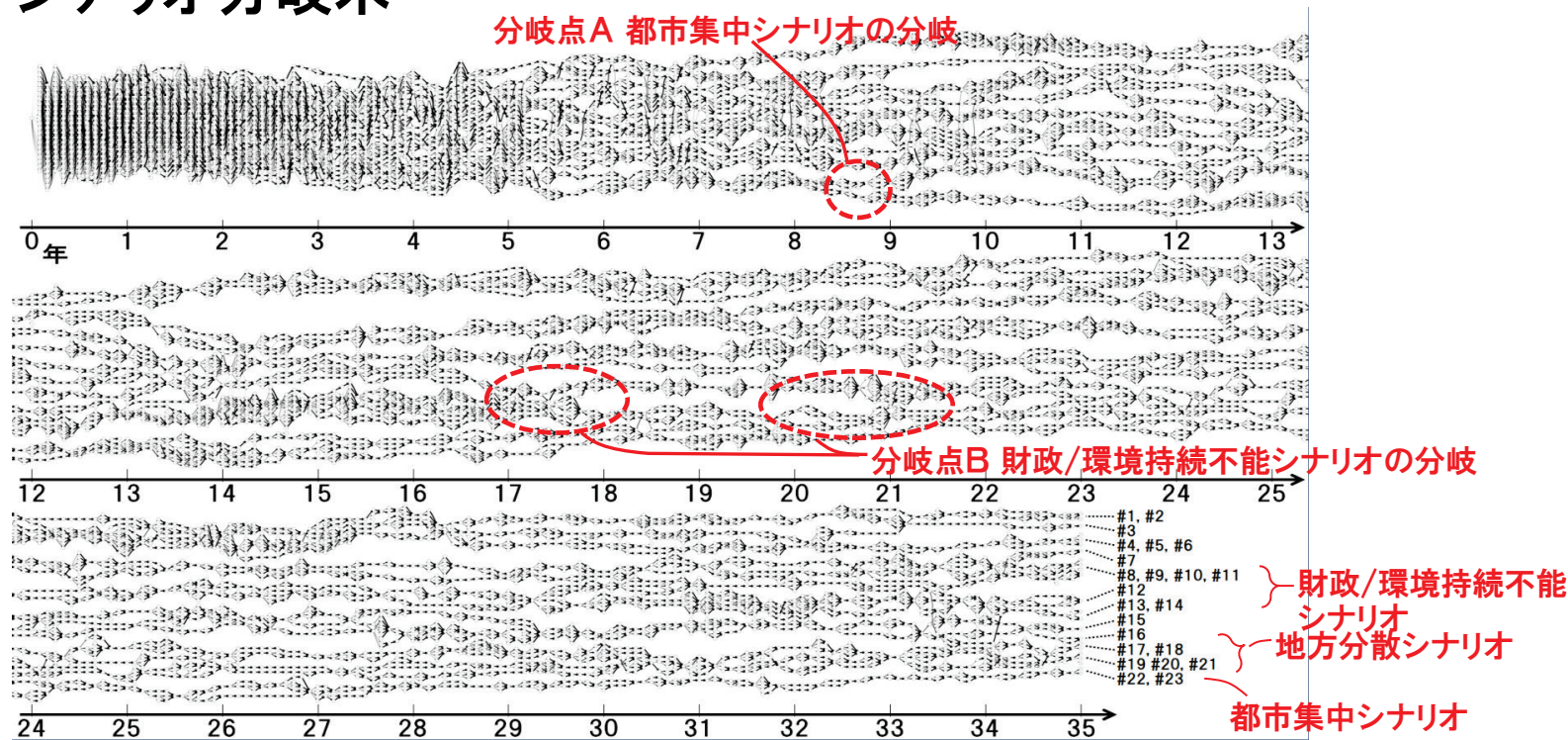
・シナリオ分岐木の構築

複数のシナリオ間の分岐構造を木構造として表す。



3-13. シナリオ分岐図および分岐点

◆ シナリオ分岐木



◆ 重要な分岐点

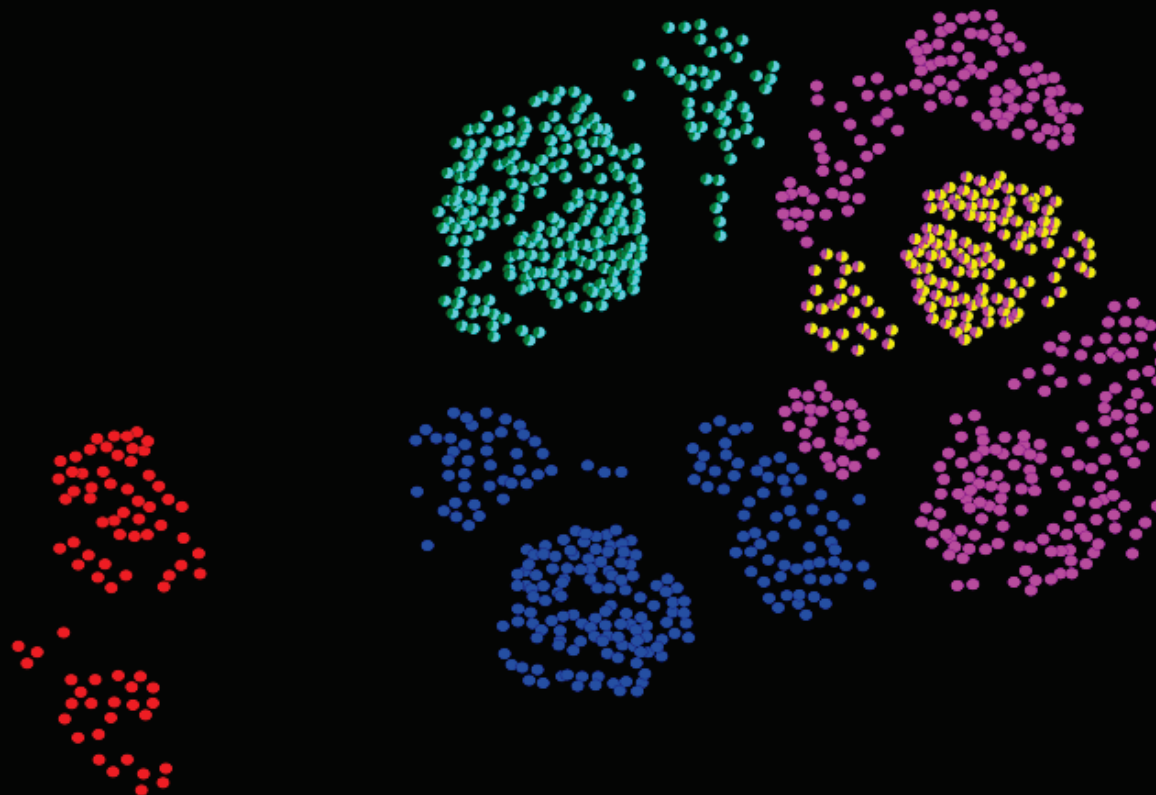
分岐点A (8～10年後): 都市集中シナリオと地方分散シナリオの分岐
以降、2つのシナリオが再び交わることはない。 ⇒ 提言(2)

分岐点B (17～20年後): 地方分散シナリオから財政/環境持続不能シナリオが分岐
ただし、完全に分離するわけではない。 ⇒ 提言(3)

3-14. シナリオ分岐の様子

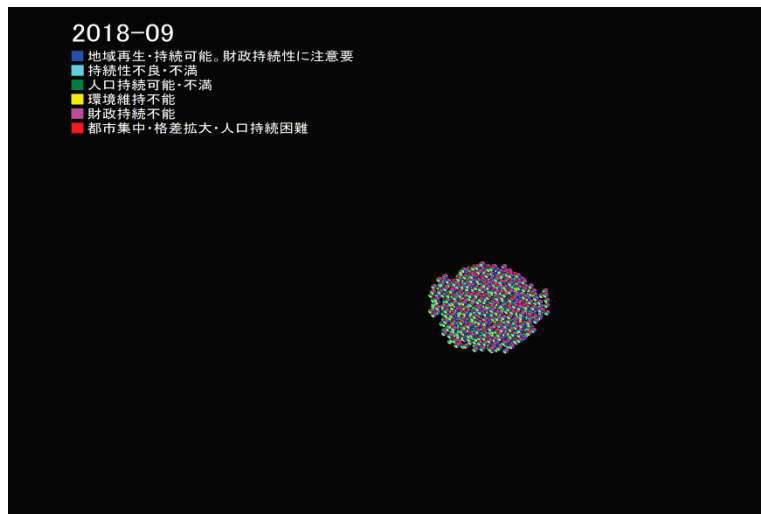
2042-09

- 地域再生・持続可能。財政持続性に注意要
- 持続性不良・不満
- 人口持続可能・不満
- 環境維持不能
- 財政持続不能
- 都市集中・格差拡大・人口持続困難

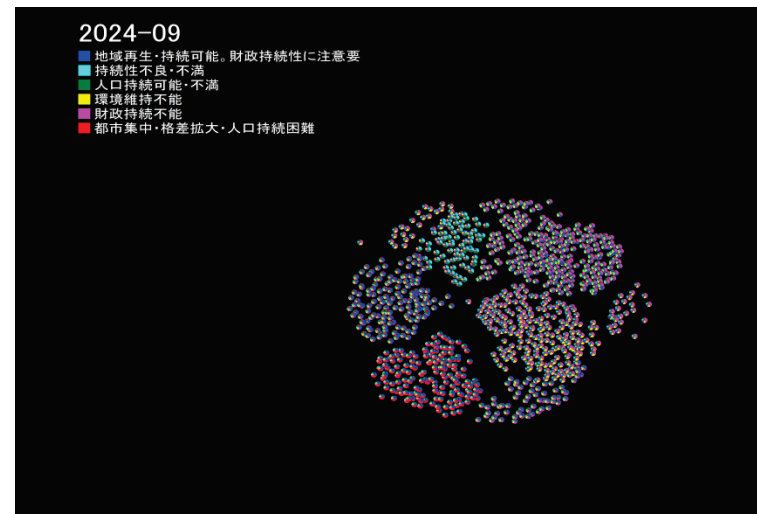


3-15. 分岐動画(抜粋) 1

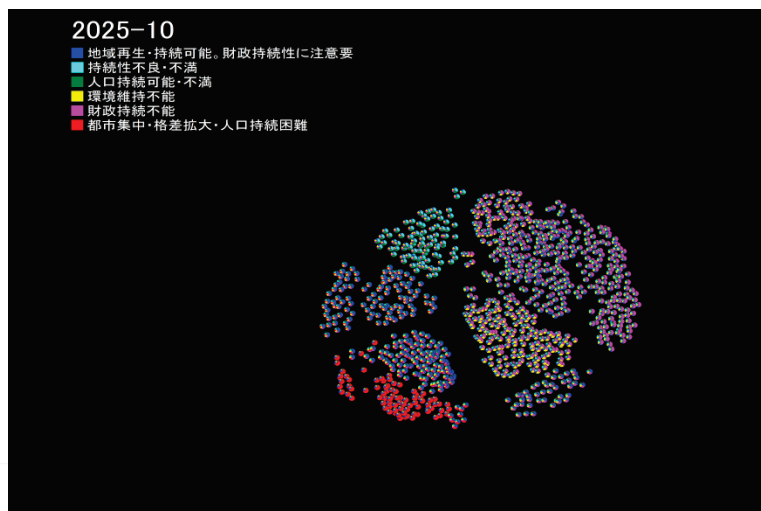
1年後



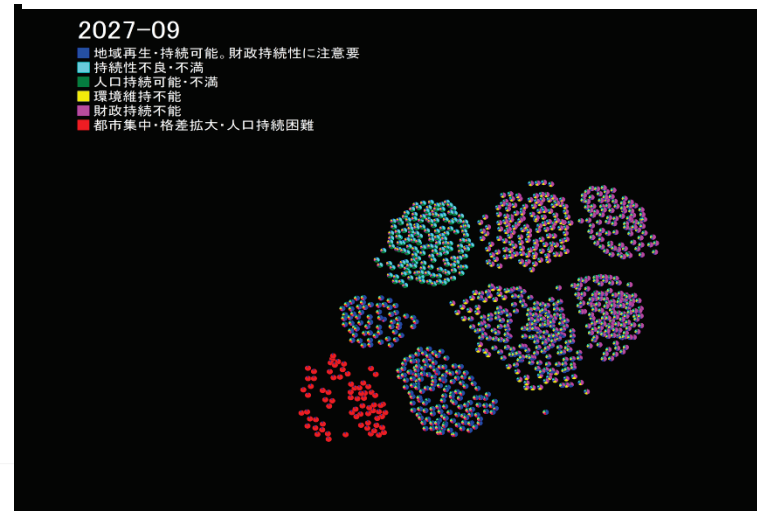
7年後：クラスタの分離が始まっているが、
各シナリオは依然として行き来可能



8.2年後：都市集中シナリオ(赤)と、
地域分散シナリオ(青)の分岐が始まる

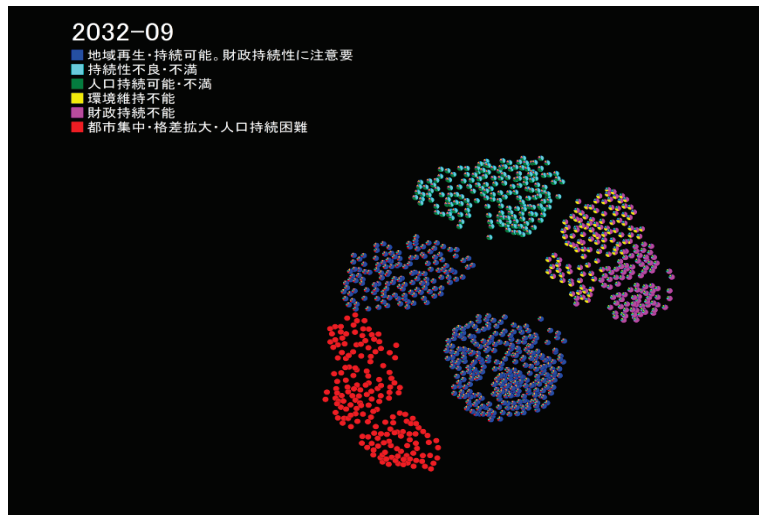


10年後：都市集中シナリオ(赤)と、
地域分散シナリオ(青)の分岐が終了

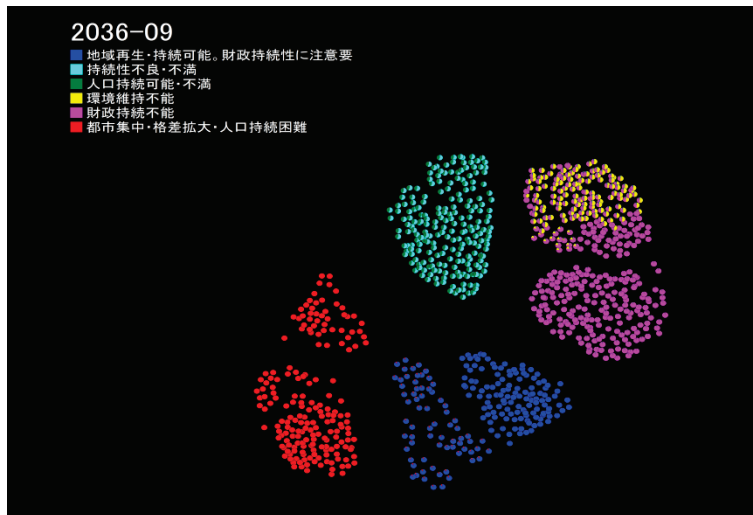


3-16. 分岐動画(抜粋) 2

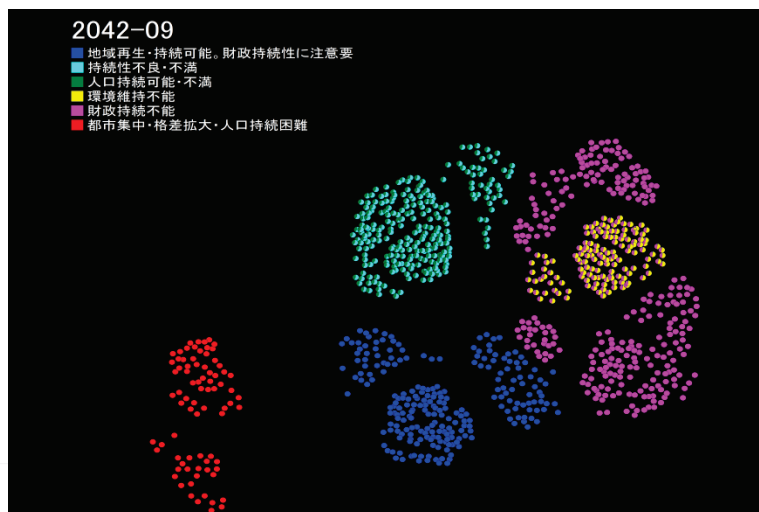
15年後：地方再生・持続可能シナリオ(青)と、
持続不能シナリオ(黄、紫)は行き来可能



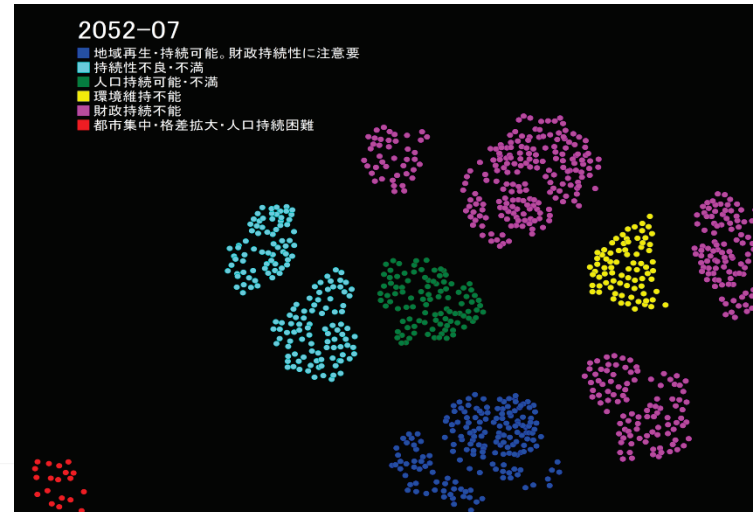
19年後：地方再生・持続可能シナリオ(青)と、
持続不能シナリオ(黄、紫)との分岐がほぼ終了



25年後：都市集中シナリオ(赤)と他の
シナリオとの距離が急激に広がりはじめる



35年後：sim終了時



◆ AIを活用した要因検討プロセス(How)

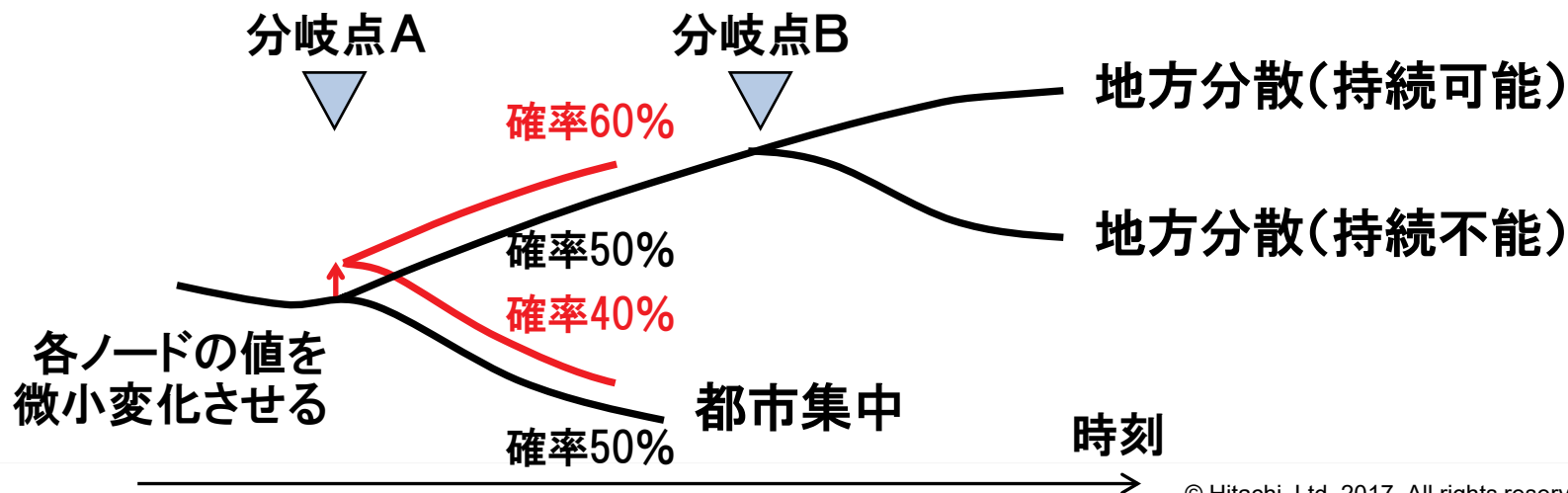
シナリオの分岐が、どうして発生するのか知りたい。

- ➡ AIの活用により、シナリオの分岐に影響を与える要因が、わかる。
- ➡ 望ましいシナリオに誘導する、具体的な政策を提言できる。

◆ 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(都市集中シナリオと、地方分散シナリオの分岐)の要因解析

地方分散シナリオに誘導するには

- ・環境課税
- ・地域の公共交通機関の充実等の政策が有効。

地方分散シナリオ
に導く要因Top15

指標	感度
人口	-1.87136
道徳性	-1.08274
環境税・炭素税	-0.96044
地域公共交通	-0.89472
送配電網の開放	-0.57887
グローバル化	-0.44046
生産人口	-0.42775
データ活用の政策	-0.42306
利他的行動	-0.35874
社会保障費のうち住宅関係(資産形成)	-0.35169
地域人口	-0.34987
出生率	-0.31291
ICT/遠隔医療	-0.30209
まちづくり	-0.28955
FIT買取価格	-0.27806

都市集中シナリオ
に導く要因Top15

少子高齢化	0.146284
工業化	0.147702
情報化	0.160375
大規模店の数	0.172628
貧困率	0.180344
過疎化	0.190511
医師の不足・偏在	0.200149
食料自給率	0.226676
失業率	0.229613
医療／健康教育、介護教育	0.278999
車社会(自家用車保有台数)	0.287131
私利の追求	0.289293
資本	0.348559
所得課税(労働への課税)	0.418607
一極集中	0.672344

◆ 分岐点②(地方分散シナリオの持続可能性に関する分岐)の要因解析

持続可能シナリオへの誘導には

- ・地域内経済循環の維持
 - ・環境負荷の削減
- が必要。



- ・地方税収
- ・地域内エネルギー自給率
- ・地方雇用

といった指標に注意しながら、
経済循環を高める政策を
継続的に実行する必要がある。

持続可能シナリオ
に導く要因Top15

ノード	感度
地域内経済循環	-0.47959
地域で生み出される所得(可処分所得)	-0.42367
地方税収	-0.40579
自治体財政の健全度	-0.39416
地域内エネルギー自給率	-0.37847
生産人口	-0.36124
税収	-0.34434
地方雇用	-0.34277
健康寿命	-0.33984
地域の経済主体	-0.32454
出生率	-0.31999
地域の人的資源	-0.31555
地域ガバナンス	-0.30571
Uターン・Iターン	-0.30566
地元資本	-0.29803

持続不能シナリオ
に導く要因Top15

地方の空洞化(シャッター通り)	0.117763
医療費	0.138634
工業化	0.146495
CO2排出量	0.173845
貧困率	0.180229
政府債務	0.195119
環境負荷	0.195333
医療／健康教育、介護教育	0.199305
一人当たりのエネルギー使用量	0.234752
高齢人口	0.246522
医療需要	0.248886
自然資源の搾取(量)	0.269192
財政赤字	0.307893
社会保障費	0.309396
失業率	0.335747

1. 日立京大ラボの紹介

- ・日立製作所 基礎研究センタのオープンイノベーション戦略

2. 政策提言について

- ・共同研究の経緯
- ・問題意識
- ・提言内容

※ 京都大学こころの未来研究センター 広井先生の資料抜粋

3. 開発した人工知能(AI)技術の詳細

- ・AI に関する考え方
- ・開発技術

4. まとめ、今後の展開

◆ まとめ

- ・政策提言における「選択肢検討」ステージにAIを活用した。
- ・開発AIの特徴技術と効果

- ① シナリオ列挙
(What)
 - ・多数シナリオシミュレーション技術
 - ・シナリオ分類技術
 - ➡ 起こる可能性があるシナリオを、漏れ／偏りなく列挙
 - ➡ 明確な将来予測に基づく政策提言
- ② 関係性解析
(When)
 - ・分岐構造解析技術
 - ➡ シナリオ間の分岐の順序や時期を特定
 - ➡ 政策実行時期が明確な政策提言
- ③ 要因検討
(How)
 - ・分岐要因解析技術
 - ➡ シナリオ間の分岐の発生要因を特定
 - ➡ 政策が具体的な政策提言

◆ 今後の展開

- ・ユーザーが自分でモデル作成、AIによる検討ができるように、開発技術のパッケージソフト化を行う。
- ・地方自治体・地域コミュニティ等にて、本技術を使用していただき、技術のブラッシュアップを図る。
⇒ 長野県、真庭市(SDGs未来都市)で推進中
- ・特定の地域に関する詳細モデルを構築し、コミュニティ経済システムなどでの社会実験を行う。
- ・企業や組織の経営者向けの戦略検討AIへの展開を行う。

4-3. パッケージソフトの使用イメージ

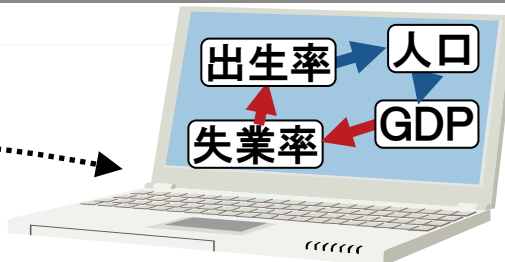
各機能の起動ボタン

モデル作成

シナリオ列挙

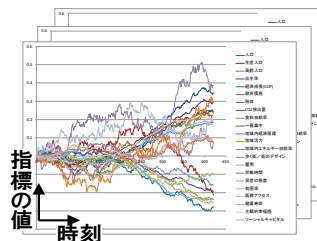
分岐構造解析

分岐要因解析

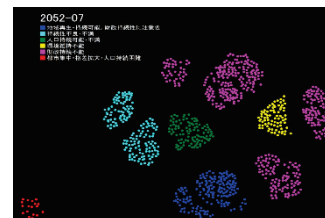
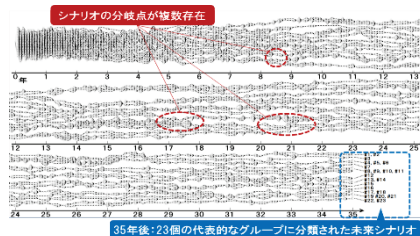


因果モデルを画面上で編集

代表シナリオをExcel上にグラフ表示、シナリオの解釈を入力



シナリオグループ#	人口	財政	地域	環境資源	雇用	格差	健康	幸福	解釈
1~4	○	△	○	△	△	○	△	○	地域再生・持続可能 財政持続性に注意
5~7	△	△	△	△	△	△	△	△	持続性不良・不満
8~11	○	△	△	△	△	○	△	△	人口持続可能・不満
12~15	○	△	○	×	△	○	○	○	環境持続不能
16~20	○	×	○	○	△	○	○	△	財政持続不能
21~23	×	○	×	○	○	×	×	×	都市集中・格差拡大 人口持続困難



分岐木・分岐動画を表示

ノード	感度
地域内経済循環	-0.47959
地域で生み出される所得(可処分所得)	-0.42367
地方税收	-0.40579
自治体財政の健全度	-0.39416
地域内エネルギー自給率	-0.37847

分岐要因をExcelで表示

- モデルと結果を比較することで、異なる考え方の人同士が建設的な議論ができるようになる。

HITACHI
Inspire the Next 

◆ 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。

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

149次元のベクトル $\mathbf{x}_t$ 149次元の乱数ベクトル $\boldsymbol{\varepsilon}_{t-j}$ 149x149行列 A_i, B_j

(ただし、 $p = 2, q = 1$)

- 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8.9万個

※ 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。

3. 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。