

地域政策の効果を予測する

ーベイジアンネットワーク分析の応用

上野 真也

熊本大学 政策創造研究教育センター 教授

本稿は、地方自治体の行政政策の効果を予測するために、ベイジアンネットワーク分析を活用することを試みたケーススタディーである。過疎が著しく進行している熊本県五木村を事例として、どのような政策的手段をとることが急激な人口減少を緩和できる可能性が高いのか、またその効果はどのようなものであるのかの予測を確率変数を使ったベイジアンネットワーク分析で行った。五木村は、川辺川ダム問題で村の大半の人口を流出させてしまい、残った人々は少子高齢化、過疎化、主要産業の衰退の中で、未来を見いだしかねている。急峻な山地で農地は乏しく、第二次・第三次産業も立地しがたいところであるが、検討の結果、土建業に依存している第二次産業比率を下げる、また高齢化比率をなんとか下げることが一番有効な人口維持のための政策的手法であることが推測された。政策評価のみならず、政策形成過程においても、その効果を予測できる技法は、さらに開発を進める価値があると考えられる。

1. はじめに

ある社会的課題に対する公共政策を考えるためには、政策として用いる手法とその政策の効果について予め検討することが不可欠である。政策分析には、これまでも線形回帰モデルや多変量解析など種々の統計分析の技術が応用されてきたが、ベイジアンネットワーク分析は複雑に関連し合っている事実に対して、事象間の関係を確率で表現するモデルを構築して分析を行おうとするもので、その成果は多方面の技術開発や意思決定に利用されている。

ベイズの定理に基づくこの「統計的決定」は、18世紀のスコットランドの牧師で確率研究者であったベイズの逆確率に由来し、「データによって人が行動を決定するならば、そのような決定は統計的決定である」という意思決定論をベースとしたものである。このベイズ統計は「事実や出来事を、確率論の枠組みの中で情報として取り扱うことのできる点で役に立つ」。ベイズ定理の特徴は、普通の数学として学ぶ頻度主義に基づく客観的・統計的な古典的確率論とは異なり、確率が人間の主観的な予想の計算ルールに従っているという考えを用いる特徴がある。つまり結果から原因へと、まず「事前確率」を与え、モデルの因果関係に従って「事後確率」を計算することで、有意な統計的意思決定情報を得ようとするものである。ベイズの定理は、次のようになっている。

$$p(x/y) = \frac{p(y/x)p(x)}{p(y)} \propto p(y/x)p(x)$$

$p(x)$ ：事前分布、 $p(x/y)$ ：事後分布、 $p(y/x)$ ： x が与えられたもとでの y の分布

このベイズの定理は将来起こりうる未知の事象を推定する、いわゆる不確実性を扱う分野の統計的手法として注目され研究が進んできた。ベイジアンネットワーク分析は、このベイズ統計を応用し、定性的な因果構造を複数の確率変数の連鎖ネットワークとして表し、各変数間の定量的な関係を条件付き確率で表現する確率モデルのことである。そしてこのモデルは、データを加えることによって学習していく逐次合理性を持つという特徴を持っている。

このベイズ決定理論に基づく研究や応用は、気象予測、脳や遺伝子科学の研究、マーケティング、医学的意思決定支援、医薬開発、犯罪捜査のプロファイリングや、コンピュータネットワークの検索、スパムメールフィルター、ファクシミリ画像の高画像化、イメージプロセッシング、ナビゲーションシステムのテクノロジーなど多方面で応用されているが、社会科学分野での研究は寡聞にして見あたらない。

ここではベイジアンネットワークモデルを、人口を持続可能なものとするための公共政策の検討に使ってみよう。

2. ベイジアンネットワーク分析を使う

(1) 事例

人口減少社会の到来は、わが国の地域の暮らしに大きな変化をもたらしつつある。この人口減少の直接の原因は、もとより非婚・晩婚や出生率の低下による国民人口の再生産が持続できていないことによるものであり、出生児を増やすことや外国人移民を受け入れなければ、国内的には人口減少を基調としたゼロサム状態にある¹⁾。そのため多くの大都市以外の自治体では、自らの地域の人口をなんとか確保したいという大変困難な希望を達成することが重要な自治体政策の課題となっている。公共政策として、子育て支援や雇用の場・ビジネス機会の創出などが、他地域から人の流入を促し人口減少を食い止めるための重要政策として掲げられることになる。しかし、果たしてそのような政策の効果は科学的に検証されているのであろうか。

われわれのミッションは、市町村の人口を増加もしくは減少させることにかかわる要因を探ることで、人口増減とかかわる独立変数を探し出し、政策として介入してそれらの変数を変化させたときに人口増加率にどのような変化が見込まれるのかを確率として予測することを、ベイジアンネットワークモデルを活用して検討することにある。

通常的人口予測は、近似曲線によるトレンド延長による推計や、出生率や死亡率、国際人口移動率などをコーホートに投入して人口を推計するコーホート要因法などが使われるが、これではさまざまな人口変動に影響を及ぼす要因を政策的介入により変化させたときの人口変動を動的に予測することができない。しかしながらベイジアンネットワーク分析を用いると、説明変数に関わる独立変数の関係性と影響力を判定するだけでなく、独立変数を変化させたときの説明変数の変化についても確率として予測が可能となる。

具体的な事例として、川辺川ダム問題で翻弄された熊本県球磨郡五木村を扱ってみよう。「五木の子守唄」で有名な五木村は熊本県の南東部、九州脊梁山地の標高200メートルから1,500メートルを超える山々一体に広がる小村である。村の面積は252.94平方キロメートルと県内でも有数の広域な自治体であるが、宅地・耕地は全面積の1%に過ぎず、平坦部が

極端に少ない急峻な地形をしている。現在は、人口規模、人口密度、人口増加率が県下最少の自治体となっている。最盛期には五木村は人口6千人以上が暮らしていたものの、川辺川ダム問題や山村の過疎化の影響もあり現在は1,300人にまで人口を減少させている。このような村自身の存続の危機に直面している事態をどう改善していくのかが、村および熊本県にとって重要な地域政策課題となっている。

たとえば平成17（2005）年から平成47（2035）年までの村人口の推計では、表－1のとおり人口は2005年現在の1,358人から488人へと36%に減少する。またその間65歳以上の高齢者が住民に占める割合は40%から51%に増加する。最早一つの自治体としての存続が危ぶまれる水準に至ることが予想される。

表－1 五木村の人口推計

単位：人

総人口（人）							指数(2005年を100)	
2005年	2010年	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2005年	2035年
1,358	1,150	983	831	696	582	488	100	35.9

(注) 指数は平成17（2005）年＝100とした場合。
データは、国立社会保障・人口問題研究所
「日本の市区町村別将来推計人口」（平成20年12月推計）」に基づく。

(2) 分析の手法

分析対象データとして、熊本県内の44市町村の統計データから、人口に直接的にかかわる変数、産業にかかわる変数、経済にかかる17変数のデータを用いた²⁾。これらを学習データとしてモデルに投入することで、以下のようなベイジアンネットワークモデルが構築された。ネットワークの各独立変数間の関係性の決定には、自然な因果関係や人の知識・経験をモデルに反映させている。

説明変数は、平成19年10月の熊本県推計人口調査に基づく市町村の人口増加率

(①－2.00以上、②－1.99～0.00、③0.01～2.00、④2.01～4.00、⑤4.01以上にカテゴリ化)とし、その他16変数は独立変数とする。ベイジアンネットワーク分析で扱うデータは離散値であることが必要であることから、統計値はあらかじめ4～5のカテゴリに分類を行っておく³⁾。データのカテゴリは、附表のとおりである。

作成されるモデルは、「有向グラフ」と「各確率変数の条件付確率表」の組で構成され、確率変数をノード、依存関係をリンクで表すものとなる。

モデルの探索アルゴリズムは全探索やツリー候補を指定した探索などの方法があるが、ここではK2アルゴリズムによる近似解法のGreedy Searchを使い、モデル評価基準にはML（対数尤度）を用いてモデルを構築し、各変数の依存関係に因果関係の矛盾を抑える修正を加える。

モデルの構築及び検証に使ったソフトウェアは、株式会社数理システムのベイジアンネットワーク構築システムBAYONET4.0を用いた。これ以外にもフリーソフトの統計処理ソフトRやマイクロソフトの試験的提供ソフトであるMSBNx、あるいはインターネット上に学術目的で提供されているHuginなどの多数のベイジアンネットワーク分析ソフトが公開されている。

(3) 分析

上で準備した熊本県の市町村データセットを確率変数を導き出す学習データとしてモデルに投入して、適切なネットワークを探すモデル探索を行い、評価に基づきそのモデルのネットワークに修正を加えることで図-1のような人口増減を示すネットワークモデルが構築される。このモデルの親⁴⁾(ペアレント)変数は「第一次産業就業人口比率」と「老年人口係数⁵⁾」であり、他の変数はそれらにつながる依存関係のネットワークの中にあることがわかる。

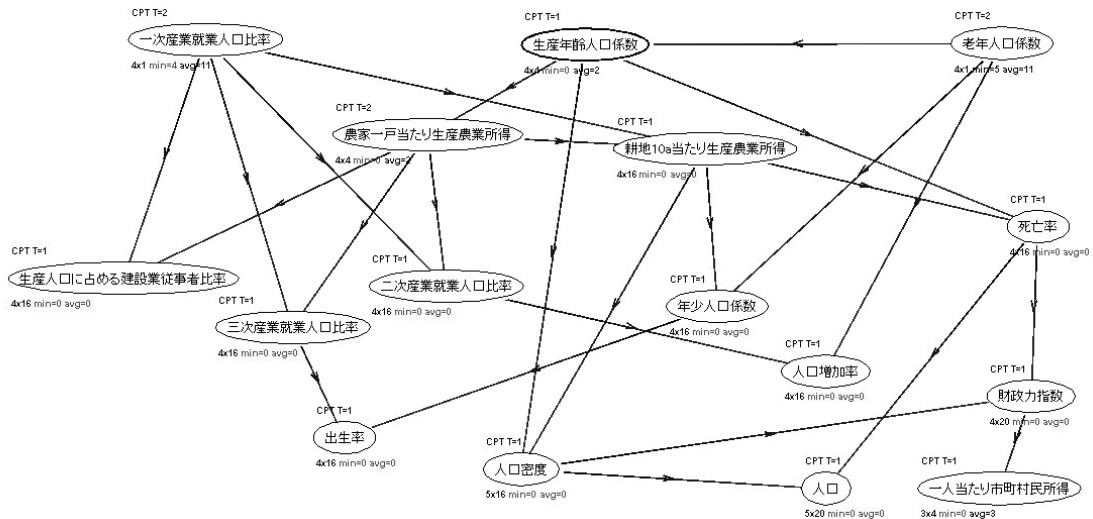


図-1 市町村人口の変動にかかるベイジアンネットワークモデル

構築されたモデルの適切さを評価するには、K2、C4.5、AIC、ML、MDLなどの評価基準を用いることができる。モデル全体の評価基準MLでは、561.007、平均のスコアは35.063である。このモデルから、説明変数である「人口増加率」変数の親は「第二次産業就業人口比率」と「老年人口係数」の2つであることが確認される。これらの3変数の関係は、有向非巡回グラフのマルコフ性⁶⁾により、他の変数の如何にかかわらず親である2変数が決まれば説明変数の「人口増加率」が決まってしまう。またd分離により「第二次産業就業人口比率」と「老年人口係数」とは条件付き独立の関係にあることがわかる⁷⁾。

モデルのグラフ中の各変数が示す確率変数間の依存関係について、「人口増加率」は、まず「老年人口係数」から「生産年齢人口係数」、「農家一戸当たり生産農業所得」、「第二次産業就業人口比率」を経由して「人口増加率」に至る経路にある。また、第2の経路は「第一次産業就業人口比率」から「第二次産業就業人口比率」、そして「人口増加率」へと至る経路がある。さらに第3の経路は、直接的に「老年人口係数」とかかっている。「第二次産業就業人口比率」は、「農家一戸当たり生産農業所得」と「第一次産業就業人口比率」の2つを親としてもつ変数であり、d分離による条件付き独立の関係にある。

われわれは、このネットワークモデル中の独立変数に対して何らかの政策的介入を行うことにより、「人口増加率」を変動させることを目指すわけである。具体的な分析推論は、人口増加率、第二次産業就業人口比率、老年人口係数の依存関係の条件確率の積演算、

$$P(\text{人口増加率} \mid \text{第二次産業就業人口比率}, \text{老年人口係数})$$

を考慮することが主たる検討課題となる。

ただ、現実に実行可能性のある政策として考えると、65歳以上の高齢者人口を直接的に操作し変化させる政策というものは非常に困難度が高い。たとえば戦後食糧難の時代には開拓団などとして大量の外地から引き上げてきた生産年齢層の移住を山村は受け入れたことがあるが、現在の社会状況ではこれも難しい。その意味で、人口増加率にかかる政策的介入の手段としては、第二次産業人口比率の操作のほうがより容易であると考えられる。

事前確率である「人口増加率」および「第二次産業就業人口比率」は、データによる学習の結果、表-2の条件付確率表CPT (Conditional Probability Table) のとおりとなる。

表-2 人口増加率、および第二次産業就業人口比率の事前確率

人口増減		第二次産業就業人口比率	
人口減少-2.0%以下	0.1828	20.5%以下	0.1914
人口減少-1.99~0%	0.4734	20.6~25.1	0.3024
人口増加0.01~2.0%	0.1938	25.2~29.8	0.3366
人口増加2.0%以上	0.1499	29.9+	0.1969

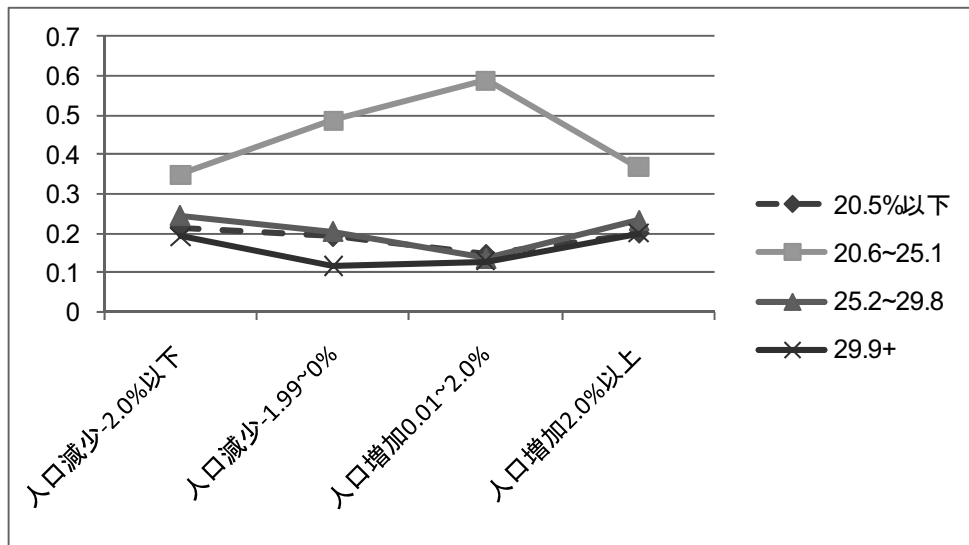
このような事前確率とモデル構造の一般的な条件下では、表-3および図-2のとおりである。この場合、人口増加率に関する第二次産業就業人口比率の確率変数の数値は、「-2%以上の人口減少」と「2%以上の人口増加」が比較的類似の確率値で推移している。第二次産業就業人口比が20.5%以下の場合、-2.0%以上人口減少する確率が21%で一番高い。仮に第二次産業就業人口比を20.6~25.1%に変えることができれば、人口増加が0.01~2.0%となる確率が59%になる。第二次産業就業人口比25.2~29.8%の場合、-2.0%以上減少する確率が24%と一番高い。第二次産業就業人口比29.9%以上の場合、人口が2.0%以上増加する確率が20%ある。つまり、市町村の人口を維持するという視点から-2.0%以上の人口激減といった最悪の事態を脱するためには、第二次産業就業人口比率を20.6%~25.1%になることが、人口激減から次善の人口微減カテゴリに移行する有効な方法であることが推測される。

もっともこれは44自治体のデータをもとに各変数の確率を計算した一般化モデルでの結果であり、個々の具体的な自治体の説明変数を推論するためには、他の独立変数の値を固有の値として設定して確率推論を実行する必要がある。

表-3 人口増加率と2次産業就業人口比率の推論の結果

第二次産業就業人口比率	人口減少 -2.0%以下	人口減少 -1.99~0%	人口増加 0.01~2.0%	人口増加 2.0%以上
20.5%以下	0.2142	0.1914	0.1466	0.2
20.6~25.1	0.3499	0.4862	0.5878	0.3684
25.2~29.8	0.2443	0.2046	0.1378	0.2316
29.9+	0.1916	0.1178	0.1288	0.2

(注) モデルに、第二次産業就業人口比率だけを動かして、どれだけ人口増加率が変動するかを調べた値。編みかけは、一番高い確率を示す。



(注) 縦軸は、確率をあらわす。

図一 2 第二次産業就業人口比率と人口増加率の条件付確率図

(4) 政策の検討

それではこの一般化されたモデルを使って、具体的な五木村に関するケースについて考察してみよう。まず「人口増加率」と「第二次産業就業人口比率」、「老年人口係数」を除く14の独立変数に対して現在の五木村の状況に合わせた条件付確率表（CPT）に値1を入れるハードエビデンス設定を行い、推論アルゴリズム Loopy BP法にかける（五木村の設定値は附表のとおり）。この分析は「第二次産業就業人口比率」と「老年人口係数」の2つの変数の変化が、他のすべての独立変数を五木村の現状値に合わせた場合、説明変数である「人口増加率」にどう影響するのかをみるためのものである。

① 第二次産業就業人口比率を変化させる

まず、「第二次産業就業人口比率」だけを変化させ政策効果について検討する⁸⁾。表一4に見られるように、現在五木村の第二次産業就業人口比率は25.5%であり⁹⁾、その場合の-2.0%以上の人口減少確率はこのモデルでも50%となっている。これは現状と一致している。この急激な人口減少対策のためには、第一次や第三次産業を強化して仮に第二次産業就業人口比率を20.6~25.1%に下げることができるとすると、人口減少率が-2.0%にとどまる確率は50%から20%にまで激減し、代わりに人口減少-1.99~0%の微減カテゴリに入る確率が40%と高くなる。あるいは建設業ではなく製造業などの第二次産業をさらに強化して第二次産業就業人口比率を29.9%以上にすると、同様に-2.0%以上の人口激減カテゴリである確率は20%にまで下がり、-1.99~0%の微減カテゴリになる確率が40%となることから、人口減少率最悪の状況を脱する可能性が期待される。

表－4 五木村の第二次産業就業人口比率と人口増加率の関係を示す条件付確率表

第2次産業就業人口比率	人口増加率			
	人口減少 -2.0%以下	人口減少 -1.99~0%	人口増加 0.01~2.0%	人口増加 2.0%以上
20.5%以下	0.4	0.2	0.2	0.2
20.6~25.1	0.2	0.4	0.2	0.2
25.2~29.8	0.5	0.1667	0.1667	0.1667
29.9+	0.2	0.4	0.2	0.2

(注) 編みかけは、一番高い確率を示す。

ここでベイジアンネットワークモデルによる推論結果を肉付けして理解するために、地域の社会的実態を確認しておく必要がある。五木村では、昭和初期まで焼き畑農業を中心とし他地域から孤絶した山奥の自給自足的な地域であったが、戦後の木材需要の増加で生計の手段であった焼き畑農業を止め、植林・造林のために雇用が拡大した林業従事者として働く者が急増した。自給的農業に依存していた住民の多くは林業労働に雇われ、村民の暮らしは一気に市場経済に巻き込まれていった。その後、木材の自由化で林業が不振になると仕事は減少した。また、昭和41年から国策のダム建設計画に対して村を挙げてダム建設反対運動が続いていたが、長期にわたる国や県の強い説得に押されて苦渋のなか昭和57年ダム建設を容認することとなった。ダム工事で村の半数の世帯や役場をはじめとする村の中心地がすべて水没することとなり、道路の付け替えや家屋の移転など大規模な公共工事が行われた。

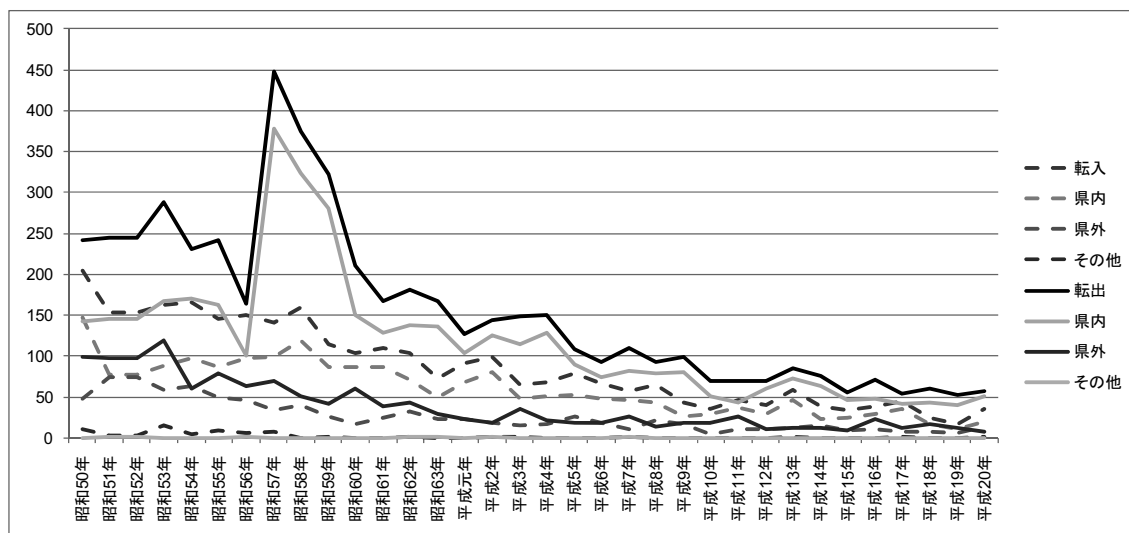
この間、昭和57年から昭和60年にかけて731人の住民が村外に移転し、村の人口が大きく減少した¹⁰⁾ (図－3参照)。その後も人流出は止まることなく人口減少が続いてきた。古くからの生活の基盤を失った多くの住民は、さらに建設業に依存する体質を顕著にしていくこととなる。現実には、五木村の公共事業に依存する割合は、一人当たり普通建設事業費では787.5千円と今でも県下で第1位となっている。このこともあって山間地域でさしたる産業もない五木村ではあるが、一人当たり村民所得は1,863千円と県内自治体でも32位になっている。

さらに五木村の社会的な特徴として、ダンナ（地頭）と名子という封建的関係性の残滓の存在や、また水没地と非水没地などの利害や立場の違いも大きく、現在も社会的亀裂を引きずっている。

五木村の第二次産業就業人口比率が高い理由は、製造業などの付加価値の高い工業が盛んなためではなく、建設業比率が高いことによると推測される。政策として第一次産業を振興することは、耕地が極めて少ない五木村では困難であった。そのため対策としては、地域特有の産物、高度差を生かした作物栽培、さらにはお茶、シイタケ、クリ、やまめ、漬物、山菜、その他林産品の振興と、付加価値を高める加工食品生産などを盛んにすることが考えられる¹¹⁾。伝統的な豆腐の味噌づけである「山うに豆腐」など、すでに民間で特産化されたものもあり、そのような五木らしさを生かした特産品づくりの方向性が政策の一つとして考えられよう。

次に、建設業従事者を第三次産業へ転換することが考えられる。観光産業、福祉産業などが、それらの候補となろう。いずれも地域の人的資源の能力を高めることが不可欠であ

り、さらに文化・歴史や山・川・野生動植物などの自然を含めて地域資源化することが併せて求められている。現在、役場、森林組合、振興公社、健康福祉総合センターなどの団体といった公務が第三次産業の基幹産業と化している状況を、民間サイドの活動力を増加させる仕掛けも不可欠である。とはいえ、高齢化率が非常に高く、生産年齢層が枯渇しかけている地域で、住民だけでどのような転換法がありうるのかは現実的に難しい課題となっている。



単位：人

図－3 五木村の人口動態推移（昭和50（1975）年～平成20（2008）年）

（注）熊本県推計人口調査データに基づいて作成。

② 老年人口係数を変化させる

第2に、65歳以上の老年人口が総人口に占める「老年人口係数」だけを変化させる政策効果について検討する¹²⁾。先に述べたように、開拓や大規模住宅団地、工業団地の立地などにより人為的な要因で大きな人口変動が起きる場合がある。しかしながら、自然な因果関係では、産業構造が変わることによって初めて地域に占める老年人口係数が変化する。逆に、若者や生産年齢層が教育や就業の機会を求めて村外へ流出することで、老年人口係数は一般的に高くなる方向へシフトする。すでに五木村では人口規模が1,300人と小さく高齢化していることから、死亡率の上昇が老年人口係数を抑制する方向に働く可能性も否定はできないが、それ以上に総人口が減少してしまうことから、この要素はあまり考慮する必要はないと考えられる。

政策的手段はともかく、仮に老年人口係数だけを変化させることができたとする、どのような変化が期待できるのかを見てみよう。老年人口係数と人口増加率の関係を示す条件付確率表は表－5のとおりである。この表から、仮に老齢人口係数を現在の34.5%以上（実際は39.8%）のカテゴリから29.4～34.4%のカテゴリレベルにまで改善するだけで、人口増加率－2.0%以上である確率は50%から10%に下がり、人口増加率－1.99～0.00%のカテゴリとなる確率が70%となることがわかる。老齢人口を減らすことは、人口増加にとって極めて大きな影響力を持っていることがこの条件付確率表から窺がえる。すでに日本全国が人口減少時代に入っているわけで、激減を微減傾向に抑制できるということは大きな改善である。

表－5 五木村の老年人口係数と人口増加率の関係を示す条件付確率表

老年人口係数	人口増加率			
	人口減少 -2.0%以下	人口減少 -1.99～0%	人口増加 0.01～2.0%	人口増加 2.0%以上
24.2%以下	0.125	0.5	0.125	0.25
24.3～29.3%	0.0909	0.6364	0.1818	0.0909
29.4～34.4%	0.1	0.7	0.1	0.1
34.5%以上	0.5	0.1667	0.1667	0.1667

(注) 編みかけは、一番高い確率を示す。

(5) 考 察

モデル分析から、五木村の急激な人口減少傾向を改善するための政策的手段には、3通りのアプローチがあることがわかった。図－1の人口増加率に関係する各独立変数の依存関係から、第1に、「老年人口係数」を村外からの人口の移動により変化させ、「人口増加率」の下落を緩和する方策がある。

次に「第二次産業就業人口比率」に関わる「農家一戸当たり生産農業所得」及び「第一次産業就業人口比率」を変化させるアプローチである。つまり第2には、働く場の創出などにより「生産年齢人口」の比率を高める。そして彼らによる農林産物の特産品化などにより「農家一戸当たり生産農業所得」を上げる。庭先野菜の商品化、高度差を生かした山菜や早生などの特産品づくりなども、老若男女を問わず農業に参入できる可能性を増すと考えられる。それは建設業に依存している「第二次産業就業人口比率」を引き下げ、さらに構造的に工業の振興に向けることで、最終的な「人口増加率」の改善に影響を及ぼす。

第3に、儲ける農林業の強化により「第一次産業就業人口比率」を高め、さらに建設業を中心とする「第二次産業就業人口比率」を下げるため、工業や第一次・第三次産業への転換を進め、「人口増加率」の改善につなげることである。

建設業依存の産業構造を変えるためには、このモデルからは農林業振興による所得増加策が効果的であることがわかる。そのことから考えれば、水没予定で移転済である頭地の広大な平地は、村による農場経営などの可能性を秘めているとも考えられる。弱体化した村の財政力は、生産年齢人口が増加し、第一次産業の振興で雇用と農家所得を上げることができれば上昇が期待できることも分かっている。さらに林業労働者の所得を上げる方法は、林業の多角化、林産物の付加価値を高めること、山を生かした観光資源化、鉱業の可能性などが考えられる。

3. おわりに

公共政策の分析にベイジアンネットワーク分析技術を活用すると、政策の意思決定過程において、政策的介入を行う場合どこにどのような手法を行うことが効果的かをあらかじめ明らかにすることができる。また、その政策効果がどれだけ期待できるかを確率値として推測することができる。さらにその介入度について、ここでは確率100%を条件として設定したが、介入の実効性に応じ0～100%の間で確率を自由に設定できるソフトエビデンス法を用いることで、確率推論モデルの結果をさらに柔軟に予測することが可能である。

また、新しい統計データが入手できれば、そのデータを投入してモデルに再学習させることで分析の精度を上げることも可能である。

しかしながら注意しなければならないことは、ベイジアンネットワーク分析の独立変数は必ずしも因果関係の構成要素ではなく、またネットワークが因果の流れを示しているものではないということである。確率変数のネットワークで表されたものは、原因から結果に至る現実の因果関係の写像のようなものと考えられる。それでもわれわれが現実に入手できるデータをもとに、潜在的独立変数を含んだモデルとしても、説明変数の変化について検討を加えることができるというメリットがある。

今後、政策効果は、政策評価のみならず政策形成過程においても、その効果を予測できるベイジアンネットワーク分析技法を活用することで、さらに科学的で効果的な政策形成が可能になると考えられる。

附表

No	変数	カテゴリ				
		名義データ				
1	市 町 村 名					
2	人 口 増 加 率	<=-2.00	-1.99~0.00	0.01~2.00	2.01~4.00	4.01+
3	人 口 総 数	一万人未満	三万人未満	五万人未満	十万人未満	十万人以上
4	人 口 密 度	<=57.1	57.2~108.5	108.6~192.6	192.7~467.6	467.7+
5	年 少 人 口 係 数	<=11.8	11.9~13.5	13.6~15.1	15.2+	
6	生 産 年 齢 人 口 係 数	<=53.3	53.4~57.3	57.4~61.2	61.3+	
7	老 年 人 口 係 数	<=24.2	24.3~29.3	29.4~34.4	34.5+	
8	出 生 率	<=5.6	5.7~7.7	7.8~9.8	9.9+	
9	死 亡 率	<=10.5	10.5~11.7	11.8~13.5	13.6+	
10	第 一 次 産 業 就 業 率 人 口 比	<=11.2	11.3~19.0	19.1~26.8	26.9+	
11	第 二 次 産 業 就 業 率 人 口 比	<=20.5	20.6~25.1	25.2~29.8	29.9+	
12	第 三 次 産 業 就 業 率 人 口 比	<=49.3	49.4~55.7	55.8~62.1	62.2+	
13	一 人 当 た り 市 町 村 民 所 得 (千 円)	<=1494	1495~2064	2-65~2634	2635+	
14	財 政 力 指 数	<=0.182	0.183~0.364	0.365~0.545	0.546	
15	農 家 一 人 当 た り 生 産 農 業 所 得 (千 円)	<=687	668~1350	1351~2012	2013+	
16	耕 地 10 ア ー ル 当 た り 生 産 農 業 所 得 (千 円)	<=47	48~85	86~123	124+	
17	生 産 人 口 に 占 め る 建 設 業 従 事 者 比 率	<=4.2	4.3~7.2	7.3~10.2	10.3+	

(注) 網掛けは五木村のカテゴリを示す。

参考文献

- ・松原望『入門ベイズ統計 [意思決定の理論と発展]』東京図書、2008年。
- ・小島寛之『確率的発想法—数学を日常に活かす』NHKブックス、2004年。
- ・繁榊算男・植野真臣・本村陽一共著『ベイジアンネットワーク概説』培風館、2006年。

- ・宮谷隆『ベイズな予測—ヒット率を高める主観的確率論の話』リックテレコム、2009年。
- ・豊田秀樹編著『データマイニング入門—Rで学ぶ最新データ解析』東京書籍、2008年。
- ・本村陽一・岩崎弘利『ベジアンネットワーク技術—ユーザ・顧客のモデル化と不確実性推論』東京電機大学出版局、2006年。
- ・樋口知之監修・著、石井信、照井伸彦、井元清哉、北川源四郎著『統計数理は隠された見合いをあらわにする—ベジアンモデリングによる実世界イノベーション』東京電機大学出版局、2007年。

注

- 1) 日本の人口予測は、平成18年の1億2774万人をピークに、すでに総人口の減少過程に入っており、2050年には9千万人くらい、2100年には5千万人前後になるという予測がある。これから徐々に大正時代の人口規模にまで減少していくが、その過程は人口増加の時代に右肩上がりに数多くの子供が生まれてきたのとは異なり、人口構造は当分のあいだ高齢人口が大きな割合を占める社会となる。予測では、最大45%程度まで高齢化率も上がる。
- 2) 熊本市は人口が70万人程度と、他の市町村と著しくその規模が異なっているため、分析から除外した。また、市町村合併で17変数のデータが揃わなかった合志市、天草市、和泉町を除外した。そのため44自治体のデータを用いている。
- 3) データのカテゴリ化は、SPSSなどの統計ソフトを使い、社会科学的な意味および分類後のデータのバランス等を勘案して附表のように分類した。
- 4) 有向非巡回グラフでノード i 、 j で $i \rightarrow j$ のとき、 i を j の親 (parents) という。逆に i に対して j を子という。
- 5) 老年人口係数 (高齢化率) は、65歳以上の老年人口を総人口で除した割合をいう。
- 6) それ以前の先祖に依存せず、直前のみに依存すること。
- 7) d 分離は3つの不確定事象を対象とするとき、次の3つの条件が成立することをいう。互いに経路で関係しているノードは、 d 分離でなければ、すべて依存結合の関係にある。
 (1) $A \rightarrow B \rightarrow C$ が縦に繋がっている線形経路において B が確定され、値が固定されるとき、
 (2) A と C が B に向かって双方から繋がっている合流経路 ($A \rightarrow B \leftarrow C$) において B が観測されず、不確定のままであるとき、
 (3) B から A C に向かって繋がっている分岐経路 ($A \leftarrow B \rightarrow C$) において B が観測され、値が固定されるとき。
 d 分離は確率的独立と対応している。本ケースの合流経路の場合は、 B が未知であれば、 A 、 C は独立である。しかし B を所与とする場合は、一般的に A 、 C は独立ではない。

$$P(A, B, C) = P(B | A, C) P(A, C) = P(B | A, C) P(A)P(C)$$
- 8) この場合、老年人口係数は五木村の現状値に設定する。
- 9) 平成17年国勢調査結果。県平均は22.5%であり、五木村は47市町村中23位。
- 10) その背景には、五木村の土地所有の特殊事情も関係している。封建時代から続く33人のダンナとよばれる地主階級と、本百姓、さらには焼き畑地を含め田畑山林、住居敷地を地主から借地する名子とよばれる階級に分かれている。明治維新後、山林は共有地も含めて地頭の個人所有に土地所有権が改められ、名子は名実ともに借地人の地位に置かれていた。戦後の農地解放も山林地主には適用されず、その封建的な構図は現在まで大

きな影響を及ぼしている。地主階級は、ダムの移転補償も大きく新たな移転地に新居をかまえたが、その他の多くの借地人は移転補償金を得て村を出ていくこととなった。五木の歴史や風土などについては、五木村総合学術調査団編『五木村学術調査—人文編—』五木村役場、昭和62年。五木村民族調査団『五木の民族』五木村役場、平成5年。五木村川辺川ダム史編纂委員会『川辺川ダムと五木村—苦難の半世紀を振り返る—』五木村役場、平成21年、など歴史学、地理学、社会学、民族学、建築史など多方面から調査した先行研究が多数あり参考となる。

11) もっとも近年は鹿、イノシシ、サルによる鳥獣害がひどく、自給的な作物すら栽培する意欲を住民が失っている。また、水田自体がほとんどなく、稲作を基盤とした農業者の信頼やネットワークという農村のソーシャルキャピタルが希薄であり、地域の協働性を生かした取組み経験が少ない傾向がみられる。

12) この場合、第二次産業就業人口比率は五木村の現状値を設定する。

(2010. 1. 19受付)

On the Prediction of Policy Effects Using a Bayesian Network Model

Shinya UENO

The purpose of this study is to examine the effects of public policies with the Bayesian network model analysis. There has been no study that tried to use this analysis on the realm of social science. We are here concerned with the key aspects of municipalities' population maintenance policy. For example, Itsuki village located in the Kyushu mountain region has been faced severe population decrease over thirty years. Because this area was assigned as the Kawabe River Dam construction site, and turned down lumber industry. We evaluate the effects of their population and industry policies for maintaining the population with the Bayesian network model analysis. The result indicates that the secondary industry that is mainly civil engineering should be decreased and change to another industry such as agriculture or processing industry. Another way is to decrease the percentage of the aged population. The Bayesian network model analysis will give us good information how we should consider the vehicle for making public policies more scientifically and more effectively.