

# ダイナミックベイジアンネットワークを用いた麻酔行為の表現

## : 麻酔ラーニングナビゲーションシステムの構築を通して

### English title

白鳥 成彦\*<sup>1</sup>  
Naruhiko Shiratori

奥出 直人\*<sup>2</sup>  
Naohito Okude

\* 慶應義塾大学 政策・メディア研究科  
Graduate school of Media and Governance  
Keio University

\*<sup>2</sup> 慶應義塾大学 環境情報学部  
Faculty of Environmental Information,  
Keio University

This paper shows how to represent an anesthetic activity model using dynamic bayesian network and adequacy of using dynamic bayesian network. There are four required points for representing anesthetic activity in operation room, which are multiple locations, multiple actors, dynamics, and uncertainty. Normally, some deterministic model is selected for representing model, but the model can not treat uncertainty and dynamics for anesthetic points. Bayesian network model is well known model to represent uncertainty, is used in many domains. Dynamic bayesian network model is a model to expand bayesian network model to represent dynamics. However, this bayesian network model does not have efficiency for representing anesthetic activity, because anesthetic activity has multiple actors that possess each breadth of time and the single dynamic bayesian network model can not represent multiple kinds of breadths of time efficiently. So, we choose a multiple dynamic bayesian networks to represent multiple time-breadth. The proposed model is to integrate each dynamic bayesian network for each actor using an interface node that does not have expression of time in the node.

## 1. はじめに

本論文では、手術室内における麻酔行為の特徴を述べると共に、麻酔行為表現に対してダイナミックベイジアンネットワークを用いる妥当性、構築手法を述べることが目的とする。そのためにまず手術室における麻酔行為と、麻酔行為表現における条件を述べる。(第 2 節) 次いで、従来の表現手法である決定的表現と確率的表現手法について述べ、ダイナミックベイジアンネットワーク手法を用いる妥当性と問題を述べる。(第 3 節) 最後にダイナミックベイジアンネットワークを複数用いての麻酔行為の表現構築を行う。(第 4 節)

従来、手術室内において麻酔科を起因とする医療事故が多く発生しており、医療事故を防ぐための手段が求められてきている。今研究で提案する麻酔活動をコンピュータ内に表現できることで、麻酔支援システムのエンジンが構築され、熟達した麻酔科医の不足、麻酔知識と技術の高度化という問題を支援していくことができるようになる。

## 2. 手術室における麻酔行為とは

手術室内における麻酔科医の行為はさまざまなものが存在している。この節では、手術室内における麻酔科医の行為を説明し、モデル表現における条件を掲示する。

### 2.1 手術室における麻酔行為

麻酔科医は手術室内において、患者における疾病や診療に伴うすべてのストレスを軽減するという目的のもと麻酔行為を行っている。今研究で表現すべき麻酔行為は行為が行われる場所、行為の処理内容、行為の性質の点から特徴付けられる。

#### (1) 複数の場所における行為

麻酔科医はストレスを軽減するという目的の元、あらゆる場所

で麻酔科医は麻酔行為をしている。手術室という場所は、大学病院を例にすると複数の手術室がまとまって存在している。東邦大学医療センター大森病院では 8 手術同時並行で手術が行えるように、10 以上の手術室が 1 つの手術室群として存在している。さらに、麻酔行為は実際の手術における麻酔行為が行われる手術室だけで行われるのではない。例えば、麻酔科指導医が当日の手術全体を把握する麻酔科ラウンジ、麻酔科の機材が置いてある麻酔器材室、麻酔科外来室などをあげることができる。つまり、手術室だけではなく、さまざまな場所で患者の安全を保つために麻酔科医は複数の場所で行っている。

#### (2) 複数のアクター

手術室には麻酔科医以外にも複数の職種と複数のアクター(人間)が存在し、患者に対して手術行為をしている。例えば、東邦大学医療センター大森病院で行われた整形外科の手術例では 1 つの手術に対して、整形外科医が 3 名、麻酔科医が 2 名、臨床工学技師が 2 名、看護師 2 名、医学生 3 名で、職種は 5 つ、人数は 12 名で行われていた。また、調査当日には 8 手術同時に行われていたために、手術室内には 80 名以上の人間が存在していたことになる。また、麻酔科医のみに焦点をあててみると、麻酔科全体を取り仕切る当日の責任者、副責任者が 1 人ずつ存在しおり、さらに 1 つの手術に対して、指導医、専門医、研修医、医学生の 4 名が存在している。このように、手術行為には複数の職種、複数のアクターが存在している。

#### (3) 動的処理

実際の麻酔行為は動的な処理、時間性の把握がとても重要である。麻酔科医である落合は麻酔管理において動的処理の重要性を述べており、手術中に行われているイベントに依存して、流動的であることを述べている。[落合 2005] また、今回ターゲットにした整形外科の手術では手術時間が 3 時間弱だが、麻酔科医が投与する薬は投与から数分で行為結果が出るものが多く、短い分レベルの行為が継続して 3 時間行われている。さらに、薬に応じて発現時間や半減期に差があるために、全体の

手術時間の把握(時間単位の時間性)と共に、数分の時間性の把握が麻酔科医には必要になる。麻酔科医の分レベル、秒レベルの行為は外科医や、看護師などの他の職種よりも短い。このイベントにおける動的処理、時間性の把握が麻酔行為には重要になってくる。

#### (4) 不確実性

麻酔科医が行う行為には元来不確実性が存在している。例えば、麻酔行為には患者自身が生来的にもつ不確実性が関係してくる。[Gaba 1994] 医学において一般的な生理学的原理は断定できるのだが、患者個々のイベントの原因は特定できない。さらに、医療機器と患者の間にも不確実性は生まれる。例えば、患者の状態を予測するモニター機器からの情報自体にノイズ等を含んだ形となっている。このように、不確実性を元来含んでいる行為が麻酔行為である。

### 2.2 行為表現条件の揭示

以上4つにわたる麻酔行為の表現のための条件を述べた。コンピュータ内で表現される麻酔行為には下記4つの条件が必要になる。

- 複数の場所における分散性の処理
- 複数のアクターにおける処理
- 時間性の把握を含む動的処理
- 不確実性の処理

### 3. 行為表現手法における先行研究

#### 3.1 エキスパートシステムにおける表現

現在までも、医療における思考支援ソフトウェアシステムとして MYCIN を代表とするエキスパートシステムが存在してきた。エキスパートシステムは特定の与えられた領域における専門家をシミュレーションするコンピュータ支援システムとして、医療界において 1970 年代から利用されてきたシステムである。このシステムには多くの種類が存在するが、多くのシステムは専門家における意思決定の流れを if-then ルールを用いて記述している、コンピュータ内に表現された知識空間を利用してユーザーに必要な情報を提供するというシステムである。[Castillo 1997]

しかしながら、エキスパートシステムにおける決定的表現のみでは麻酔行為を表現する手法としては有用なものにはなりえない。大きな問題としては行為表現条件における時間性の把握と不確実性の処理を表現することが難しい。決定的な表現のみでは、麻酔行為条件の不確実性部分を表現することができず、時間によって行為が変化する部分を表現することができない。麻酔科医の行為、身体的な知識は感や経験に大きく左右され、決定的な論理では表現できないのである。

#### 3.2 ベイジアンネットワークによる表現

次に、不確実な処理について確率を用いて表現するベイジアンネットワークによる手法について説明する。ベイジアンネットワークによる表現手法はウェブサービス、中国医療、獣医診断などさまざまなドメインで展開されている。[本村 2003; 本村 2004; Wang 2004; Geenen 2005] ノードとノード間を結ぶアーク、ノード間の条件付確率を決定することで、観察した結果後の事後確率を求めることができる。ベイジアンネットワークを用いた表現により、麻酔行為の不確実性部分の表現に対して確率を用いて表現することができる。

しかしながら、通常の静的な因果関係のみを表現するベイジアンネットワークでは麻酔行為表現の条件である動的部分による因果関係の変化を表現することは難しい。

動的処理を表現する手法としてベイジアンネットワークを拡張したダイナミックベイジアンネットワークをあげることができる。[Russell 1995; Korb 2004] 時間の幅を離散的に表現し、静的ベイジアンネットワークを時間軸にそって複数回作る手法である。通常の動的表現

しかしながら、通常のダイナミックベイジアンネットワークによる手法では麻酔行為の分散性と時間性を表現することは難しい。麻酔行為には複数のアクターが存在し、それぞれは独自の時間の幅を持っているために 1 つの時間軸の幅では表現することはできるが、とても効率が悪いものとなる。例えば、麻酔科医の時間幅では、30 秒単位で時間が更新するのに対して、外科医の時間幅は 10 分単位で更新される。どちらかの時間幅によせて更新することは可能だがとても効率が悪いものになる。

### 3.3 現状表現手法との問題把握

現状の表現手法と、麻酔行為の表現条件の問題をまとめると下記の 2 点になる。

- 静的なベイジアンネットワークモデルでは麻酔における時間軸を表現することができない
- 単独のダイナミックベイジアンネットワークモデルでは複数人の多次元的時間幅を効率的に表現することができない

### 4. ダイナミックベイジアンネットワークによる麻酔行為表現

麻酔行為における動的表現の問題と時間幅表現の問題を解決するためにダイナミックベイジアンネットワークを複数構築する手法を用いる。時間幅が違う各アクターにそれぞれのダイナミックベイジアンネットワークを用いて表現し、それを結合する形で麻酔行為全体を表現する。

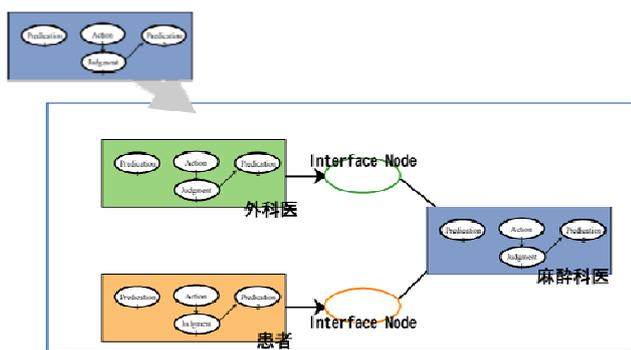
#### 4.1 構築手法

最初に、手術室内の各アクターに対して静的ベイジアンネットワークを用いて行為表現の構築を行う。今回の麻酔行為表現で用いるアクターは、麻酔科医、外科医、患者の 3 種類を用意する。また、麻酔科医の複数人の表現については、1 つの麻酔科医の表現としてまとめる。各アクターの行為表現は、手術室内で行ったインタを元にオブジェクト指向による表現を用いて、麻酔科医と共同しながらノードと確率を導き出した。

次に、各個別の静的ベイジアンネットワークモデルを、時間幅を導入したダイナミックベイジアンネットワークに拡張していく。外科医は 10 分単位、患者は 15 秒単位、麻酔科医は 30 秒単位の時間幅を導入して、それぞれの動的処理と時間幅を表現する。

各個別のアクター間の依存関係を表すノードをインタフェースノードとして抜き出す。インタフェースノードは時間を通して 1 つであり、時間軸表現をノードの中に含まない。時間  $t$  においても、 $t+1$  においてもインタフェースノードはコピーされず、共通のノードである。

最後に、インタフェースノードを用いて、各個別のダイナミックベイジアンネットワークモデルを結合させる。



ダイナミックベイジアンネットワーク構成図

#### 4.2 実装手法

以上の複数用いた分散ダイナミックベイジアンネットワークを今年度は慶應義塾大学 門田が開発した JENGA を用いてプロトタイプを実装した。各個別の静的ベイジアンネットワークを最初に JENGA を用いて構築し、各個別の静的ネットワークを C# プログラムを用いて結合させた。

#### 5. まとめ

本研究では麻酔行為表現の条件を述べ、ダイナミックベイジアンネットワークを用いて麻酔行為の表現を行い、関連研究との比較から妥当性を述べた。また、ダイナミックベイジアンネットワークを1つ用いるだけでなく、各アクターに即して複数個用いる手法が麻酔行為の表現に対して適切なことを示した。

今後の展開としては、今回構築した麻酔行為表現のベイジアンネットワークを実際に動く形で検証を行うことである。例えば、適切な解を麻酔科医に提供できるのかどうかを検証すること、解を導き出す時間と表現性とのバランスを考慮すること、適切な推論アルゴリズムを選択することで他ネットワークモデルとの優位性を検証していくことなどをあげることができる。

#### 参考文献

- [落合 2005] 落合亮一: シミュレータとナビゲータ, in *心臓血管麻酔の進歩* edited by 武田純三他, 真興交易(株)医書出版部,2005.
- [Gaba 1994] Gaba, David M., Kevin J. Fish, and Steven K. Howard. *Crisis management in anesthesiology*: Churchill Livingstone, 1994.
- [Castillo 1997] Castillo, Enrique, Jose Manuel Gutierrez, and Ali S. Hadi. *Expert Systems and Probabilistic Network Models*. Edited by David Gries and Fred B. Schneider, *Monographs in Computer Science*. New York: Springer-Verlag, 1997.
- [本村 2003] 本村陽一. "ベイジアンネットワーク." *信学技報 NC* 2003-38 (2003): 25-30.
- [本村 2004] 本村陽一. "ベイジアンネットと確率推論 -実際的应用のためのモデリングと推論アルゴリズムの解説-." *信学技報 NC* 2004-62 (2004): 29-34.
- [河原 2004] 河原吉伸, 矢入健久, and 町田和雄. "確率的推論システムによる宇宙機異常診断に関する研究." Paper presented at the 第48回宇宙科学技術連合講演会 2004.
- [Wang 2004] Wang, Xuwei, Haibin Qu, Ping Liu, and Yiyu Cheng. "A Self-Learning Expert System for Diagnosis in

Traditional Chinese Medicine." *Expert Systems with Applications* 26 (2004): 557-66.

[Geenen 2005] Geenen, Petra L., and Linda C. van der Gaag. "Developing a Bayesian Network for Clinical Diagnosis in Veterinary Medicine: From the Individual to the Herd." In *the Third Bayesian Modelling Applications Workshop, held in conjunction with the Twenty-first Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. Edinburgh, 2005.

[Russell 1995] Russell, Stuart J., and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 2nd Edition ed: Prentice Hall, Inc., 1995.

[Korb 2004] Korb, Kevin B., and Ann E. Nicholson. *Bayesian Artificial Intelligence*: Chapman & Hall/CRC, 2004.