

# 観測エリア決定支援のための ベイジアンネットワークの試作評価

澤田 めぐみ<sup>†1</sup> 尾崎 敦夫<sup>†1</sup> 白石 将<sup>†1</sup>

状況把握（医療診断，敷地内侵入者監視等）のための観測エリア決定支援に，ベイジアンネットワークを活用した状況推定モデルを適用するアプローチが有望視されている．各観測エリアにおいて，状況把握の対象（病気，侵入者の行動意図等）に関わる事象の発生有無は，時間に伴い変化する．しかし，ベイジアンネットワークは時間的に確率が変化する事象を扱う仕組みが無いという課題がある．そこで，本稿では，観測エリア決定支援用途においてベイジアンネットワークへ時間的な概念を導入する方式を提案する．本提案方式では，対象シナリオの一連の各場面について，「時間的な状態（例：未実施／実施中／完了）」を推定するように拡張した．具体的には，「場面の前後の時間的な状態」と「観測情報の取得時刻・内容」に基づき，各場面の「時間的な状態」の各確率値を変化させることで，シナリオの時間進行を表現する．これにより得られた推定結果は，“実施中”の確率が高い場面を優先的に観測すべき対象としてユーザにリコメンドするといったように，活用することができる．

## Evaluation of Bayesian Network for Selecting Observation Areas

MEGUMI SAWADA<sup>†1</sup> ATSUO OZAKI<sup>†1</sup>  
MASASHI SHIRAIISHI<sup>†1</sup>

Bayesian network is desired as an effective approach for the decision support of the observation areas in a situational awareness (medical diagnosis, intruder surveillance and so on). In each observation area, Occurrence or non-occurrence of the events related to the target of situation awareness (disease, intruder's purpose and so on) changes with time. However, Bayesian network cannot handle the probability event that changes with time. To solve this problem, we proposed the method that introduces the time concept to Bayesian network for the decision support of the observation areas. The proposed method extends Bayesian network to estimate the temporal state (for example, inactive, active and complete) about each phase of the target scenario. Specifically, the time progression of the scenario is estimated by changing the probability value of the temporal state of each phase based on “the temporal state of the before and after phases” and “the acquisition time and the content of observation information”. This estimation result can be utilized to recommend the phase of the active state as the target that should be observed preferentially.

### 1. はじめに

ベイジアンネットワーク(BN: Bayesian Network)[1]は「確率的な事象」を「事象間の因果関係」によって結んだグラフ構造でモデル化する手法であり，ある事象の観測結果が得られた場合に他の事象の確率値を推定することができる．そこで，状況把握（医療診断，敷地内侵入者監視等）における観測エリアの決定支援に，BN による状況推定モデルを適用するアプローチが有望視されている．各観測エリアにおいて，状況把握の対象（病気，侵入者の行動意図等）に関わる事象の発生有無は 時間に伴い変化する．しかし，BN は時間的に確率が変化する事象を扱う仕組みが無いという課題があった．そこで，観測エリア決定支援のためのBN に時間的な概念を導入する方式を提案した[2][3]．本稿では，提案方式により，敷地内侵入者監視のためのBN を実装し，基本動作の確認を行った結果を示す．

### 2. BN の概要

BN は有向非循環グラフであり，ノードは確率変数，アークは事象間の因果関係を示す．また，各ノードには条件付き確率の表（CPT: Conditional Probability Table，親ノードが与えられた場合の自ノードの確率の表）が付与される．BN の確率推論では，任意のノードの観測結果により確率分布が変更されると，依存するノードの事後確率がベイズの定理により算出され，その他のノードもグラフ構造に応じて更新される．BN は，次の特長を持つ．

- 事後確率を算出するための同時分布の設定数を大幅に削減することができる．
- 曖昧な情報を扱うことができる．
- 新たな情報が判明する度に，状況に関する知識を更新することができる．
- 人間の知識・ノウハウの可視化に役立つ．また，モデルの表現が直感的に分かり易いことから，異なる分野の専門家が協力して単一のBN を構築する作業がし易い．

<sup>†1</sup> 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所  
Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.

文献[4]で提案されている典型的な BN の構造を図 1 に示す。このような BN を用いることで、観測エリア決定支援のための以下のような定量的指針を提供することができる。

- 取得した観測情報から推定した問題変数の確率値。
- 取得していない観測情報が、問題変数の確率値の推定結果に与える影響度[4]。
- 取得した観測情報間の矛盾度[4]。

しかし、BN には、時間的な概念を扱う仕組みが無い。よって、各観測エリアにおける「事象の発生有無の時間に伴う変化」を考慮した推定結果が得られないという課題がある。

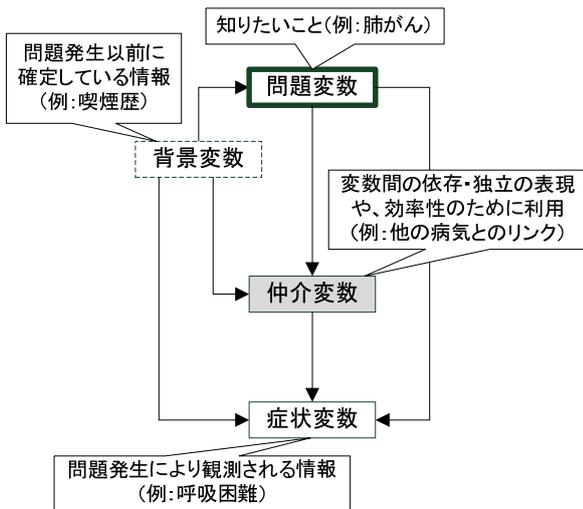


図 1 典型的な BN の構造[4]

Figure 1 Typical structure of BN[4].

### 3. 提案方式

#### 3.1 概要

時間的に確率が変化する事象を対象とする BN は動的ベイジアンネットワーク (DBN: Dynamic Bayesian Networks) と呼ばれる[1]。DBN は、単純には、通常の BN (静的な BN) を時間方向にコピーし、接続することで構築される。この構築方法はタイムスライスと呼ばれる。タイムスライスによる DBN の例を図 2 に示す。図 2 の DBN は、外を歩いている人が傘をさしているか否かを観測し、雨が降っている確率を推定するというものである。ある時刻の推定結果は、前時刻 (過去) の推定結果に影響を受けるようにアークが引かれており、もし “ $Rain_t = \text{yes}$ ” の確率が高ければ、“ $Rain_{t+1} = \text{yes}$ ” の確率が高くなる。

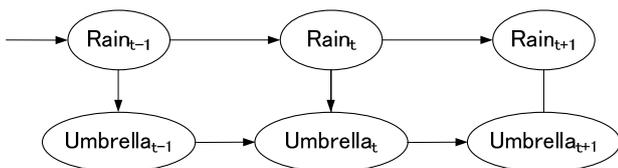


図 2 タイムスライスによる DBN の例[1]

Figure 2 Example of DBN constructed by time slice[1]

タイムスライスにより、観測エリア決定支援のための BN に時間的な概念を導入することは、次の課題がある。

- 対象とする期間が長い場合、ノード数と CPT の設定数が莫大となる。
- 時間経過に伴うシナリオの進行 (一連の各場面の完了有無) を考慮した推定結果が得られない。

そこで、提案方式では、シナリオの一連の場面 (以後、フェーズと呼ぶ) を示すノードの値として「時間的な状態 (例: 未実施 / 実施中 / 完了)」を設定する。そして、「前後のフェーズの時間的な状態」と「観測情報の取得時刻・内容」に基づき、各フェーズの「時間的な状態」の確率値を変化させることで、シナリオの時間進行を推定する。

提案方式による BN の推定結果は、2 章で述べた観測エリア決定支援のための定量的な指針の提供に加え、「実施中の確率が高いフェーズの観測エリア」を「優先的に観測すべきエリア」としてユーザにリコメンドするといったように、活用できると考える。この利点を以下に示す。

- 状況把握の対象に関連する事象が発生しているだろうエリアが「優先的に観測すべきエリア」としてユーザに提示される。
- フェーズの時間的な状態の推定結果が曖昧な場合は、無理に「優先的に観測すべきエリア」の絞り込みが行なわれない。
- フェーズの実施中の確率値を提示することで、時間的な観測優先度を定量的に示すことができる。

#### 3.2 敷地内侵入者監視への適用例

提案方式により構築した敷地内侵入者監視のための BN を図 3 に示す。図 3 の BN は以下手順で構築した。

- Step1: 状況把握の対象 (侵入者の目的) に関わる事象が発生し得る観測エリア (敷地裏口、建屋 A 近辺等) とシナリオのフェーズの対応付けを行なう。
- Step2: ノードは “状況把握の対象”, “フェーズ”, “観測エリア” であるとし、次のようにアークを引く。
  - “フェーズ” から “そのフェーズに対応付けられた観測エリア” へ
  - “フェーズ” から “そのフェーズの次フェーズ” へ
  - “フェーズ” から “状況把握の対象” へ
- Step3: ノードの値として、“フェーズ” には “取り得る時間的な状態” を設定する。例えば、図 3 では、“フェーズ” には “未実施 / 実施中 / 完了” を設定している。“観測エリア” には、通常の BN と同様に “取り得る状態” を設定するが、簡単化のために “未実施 / 実施中” を設定する。ここで、“観測エリア” への観測結果の入力は、観測ログからルールベースで算出された確率値を入力することとする。
- Step4: “フェーズ” の値の確率値の変化が、表 1 の条件に従うようにする。ここで、表 1 の “塗り潰し” で示す

条件”は、CPTの設定により処理1,2を実現可能であるが、その他の条件はBNに処理1,2を追加する。

- 処理1: 表1の条件判定処理
- 処理2: 条件が満たされた場合に、“フェーズ”の確率値を変化させる処理

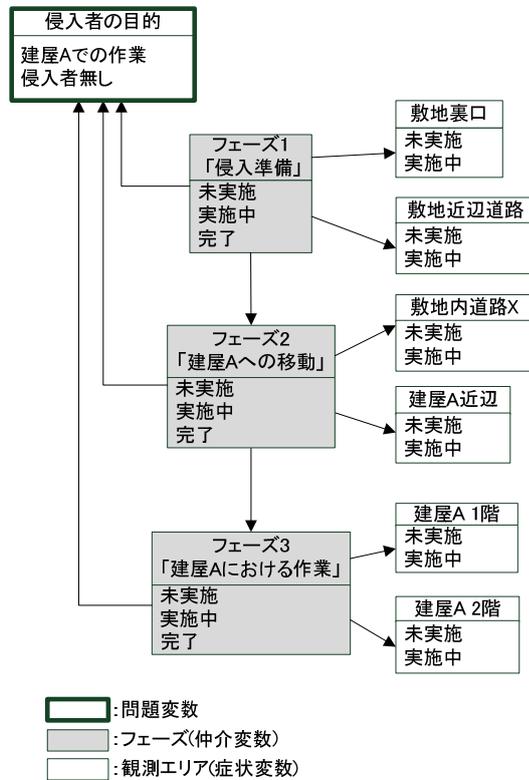


図3 提案方式により構築した敷地内監視のためのBN

Figure 3 Example of BN constructed by our method for intruder surveillance.

表1 フェーズの値の確率値の変化条件

Table 1 Conditions for changing probabilistic values of the phase.

フェーズの確率変化	変化条件
未実施の確率：減少 実施中の確率：増加	(1)観測エリアの実施中の確率が増加 (2)前フェーズの完了の確率が増加
未実施の確率：増加 実施中の確率：減少	(3)観測エリアの実施中の確率が減少
実施中の確率：減少 完了の確率：増加	(4)自フェーズの実施中の確率が閾値以上となつてから所定の最大時間に近づく
	(5)自フェーズの実施中の確率が閾値以上となつてから所定の最小時間が経過し、かつ、観測エリアの実施中の確率が減少
	(6)自フェーズの完了/完了間近を示す観測情報を取得
実施中の確率：増加 完了の確率：減少	(7)次フェーズの実施中の確率が増加
	(8)観測エリアのActiveの確率が増加
未実施の確率：減少 完了の確率：増加	(9) 自フェーズの完了/完了間近を示す観測情報を取得
	(10)次フェーズの実施中の確率が増加
未実施の確率：増加 完了の確率：減少	(11)前フェーズの未実施/実施中の確率が増加

#### 4. 評価結果

提案方式のプロトタイプとして図3のBNを、Hugin (HUGIN EXPERT A/S社製のBN作成支援ツール)[5]を用いて実装した。プロトタイプは、フェーズを示すノードを「1つのノードとした場合(図4)」と、「2つのノードに分割した場合(図5)」についてそれぞれ実装した。以降、図4に示す実装をプロトタイプ1と呼び、図5に示す実装をプロトタイプ2と呼ぶ。各プロトタイプのCPTは、表1に基づき、著者の主観的な確率を設定した。図4,5は、プロトタイプの初期状態(すなわち、観測結果の入力が無い場合の推定結果)を示す。

プロトタイプの基本動作を確認するために、観測結果の確率値として表2に示す値をプロトタイプ1,2に順次入力した。表2の入力に対する、プロトタイプ1の推定結果を図6に、プロトタイプ2の推定結果を図7に示す。図6,7いずれにおいても、以下のような推定結果が確認された。

- 入力1~4は、例えば、「敷地近辺道路Xに不審車両が駐車」等の観測結果を想定している。これらの入力は、表1の条件(1)を満たしており、“Outside road X”の親ノードである“Phase 1=Active”の確率増加が確認された。
- 入力5は、例えば、「敷地裏口の鍵が壊された」という観測結果を想定している。入力5も表1の条件(1)を満たしており、“Postern gate”の親ノードである“Phase 1=Active”の確率増加が確認された。
- 入力1~5により、“Phase 1=Active”の確率が増加するほど、状況把握の対象である“Aim of Intruder = Work in Building A”の確率が増加することも確認された。
- 入力5の「敷地裏口の鍵が壊された」という観測結果は“Phase 1”の完了を示す。よって、入力5は表1の条件(6)を満たすが、Huginには条件(6)を判定し、フェーズの確率値を強制的に変化させる機能が無い。そこで、入力6で“Phase 1 = Complete”の確率値として100%を入力した。入力6は表1の条件(2)を満たしており、“Phase 2 = Active”の確率増加が確認された。また、これに伴い“Aim of Intruder = Work in Building A”の確率がさらに増加することも確認された。

図6,7の推定結果から、例えば、下記の条件、を用いて「優先的な観測エリア」を抽出することが考えられる。条件を利用する場合、入力2~5では“Phase 1”に接続された観測エリアが抽出され、入力6では“Phase 2”に接続された観測エリアが抽出される。

- 条件：フェーズのActiveの確率がInactiveとCompleteよりも大きい
- 条件：フェーズのActiveの確率が所定値以上である

以上より、プロトタイプ1,2いずれの実装も、観測エリアの決定支援に利用可能であることが分かった。プロトタイプ2は、プロトタイプ1と比べ、下記の利点があり、プロトタイプ2の実装を用いることが有効と考える。

- フェーズを示すノードの状態数が 3 から 2 に減少するため、CPT の設定が単純になる。
- フェーズの Complete の確率値は、外部からの入力により、強制的に確率値を変化させる場合がある (表 1 の条件(4), (5), (6), (9)). フェーズを「Complete か否かを示すノード」と「Active か否かを示すノード」に分割することで、外部から入力が発生するノードを区別することができる。
- “Complete =100%”の入力直後は、フェーズの Active の確率値が 0%にならない。つまり、フェーズの完了後、そのフェーズに対応付けられた観測エリアの Active の確率値が減少し、それに伴い、フェーズの Active の確率値が減少することを表示することができる。

表 2 プロトタイプへの観測結果の確率値の入力

Table 2 Input values to the prototypes.

入力番号	対象ノード	入力確率値
1	Outside road X	Active = 60%
2	Outside road X	Active = 70%
3	Outside road X	Active = 80%
4	Outside road X	Active = 90%
5	Outside road X	Active = 90%
	Postern gate	Active = 100%
6	Outside road X	Active = 90%
	Postern gate	Active = 100%
	Phase 1	Complete = 100%

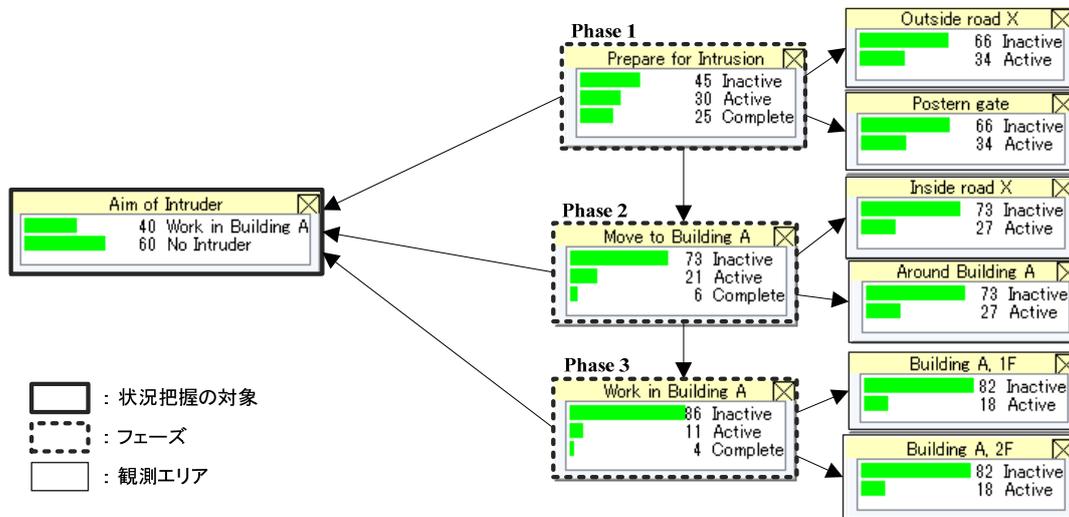


図 4 提案方式のプロトタイプ 1 (フェーズを示すノードを 1 つのノードとした場合)

Figure 4 Prototype 1 of our method (“Phase” is implemented as a single node).

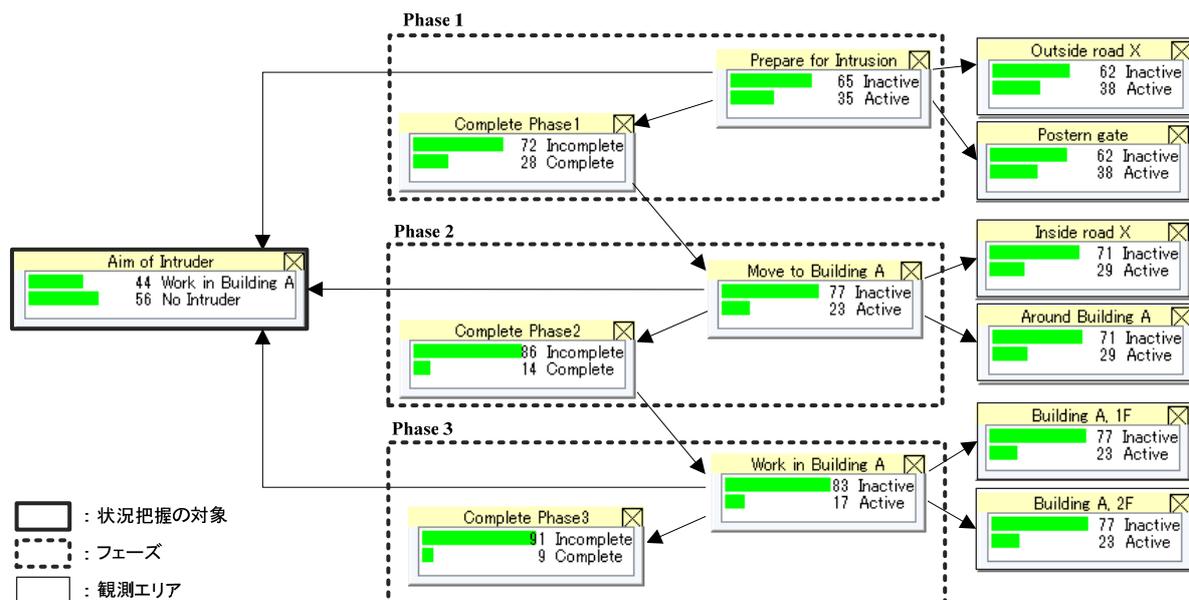
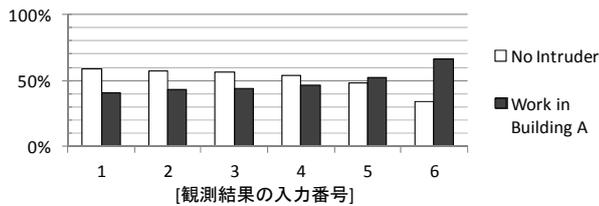
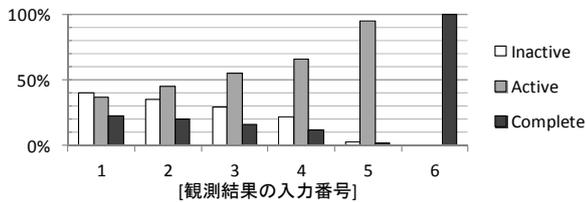


図 5 提案方式のプロトタイプ 2 (フェーズを示すノードを 2 つのノードに分割した場合)

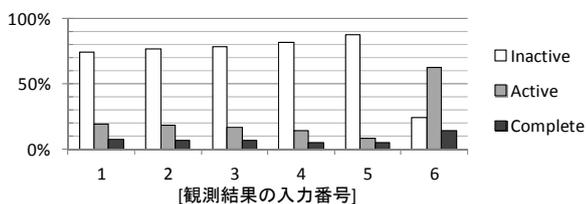
Figure 5 Prototype 2 of our method (“Phase” is implemented as two nodes).



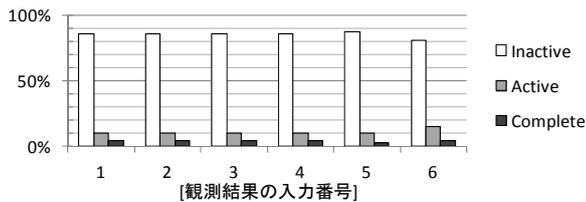
(a) Aim of Intruder



(b) Phase 1 : Prepare for Intrusion



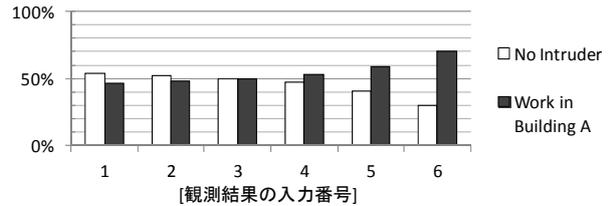
(c) Phase 2 : Move to Building A



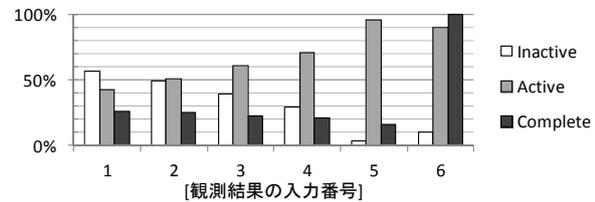
(d) Phase 3 : Work in Building A

図 6 プロトタイプ 1 の推定結果

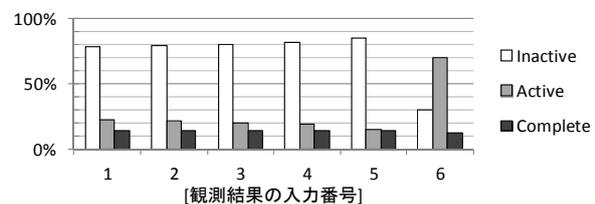
Figure 6 Estimation results of prototype 1.



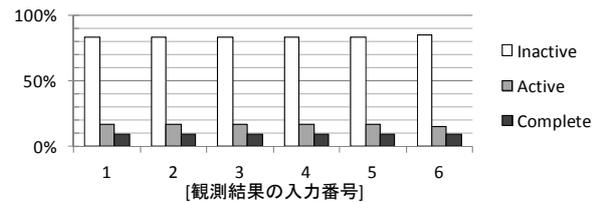
(a) Aim of Intruder



(b) Phase 1 : Prepare for Intrusion



(c) Phase 2 : Move to Building A



(d) Phase 3 : Work in Building A

図 7 プロトタイプ 2 の推定結果

Figure 7 Estimation results of prototype 2.

## 5. おわりに

観測エリア決定支援のための時間的な概念を導入した BN を実装し，観測結果（確率値）の入力に対して，フェーズの時間的な状態の確率値が想定どおり推移することを確認できた．今後の課題は，詳細評価（本稿で対象外とした表 1 の条件等）を実施することである．

## 参考文献

- 1) Stuart Russell and Peter Norvig : 「エージェントアプローチ人工知能 第 2 版」, 共立出版 (2008).
- 2) 澤田他:「ベイジアンネットワークを用いた観測エリアの決定支援」, 信学技報, Vol.113, No.466, MSS2013-90 p83 - p87 (2014).
- 3) 澤田他:「ベイジアンネットワークへの時間的な概念導入方式 - 観測計画決定支援への適用とその基本評価 - 」, 情報処理学会 第 77 回全国大会講演論文集, 3B-05, p1-249 - p1-250(2015).
- 4) B. Kjærulff and Anders L. Madsen : “ Probabilistic Networks for Practitioners - A Guide to Construction and Analysis of Bayesian Networks and Influence Diagrams. ” <http://www.cs.aau.dk/~uk/papers/pgm-book-II-06.pdf> (accessed 2015-08-21).
- 5) Hugin, <http://www.hugin.com/>(accessed 2015-08-21).