

# ベイジアンネットソフトウェア

## Bayesian Network Softwares

本村 陽一  
Yoichi Motomura

独立行政法人 産業技術総合研究所  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)  
y.motomura@aist.go.jp

**keywords:** Bayesian network, Probabilistic reasoning, Statistical learning, Intelligent systems, Data mining

### 1. はじめに

情報技術の適用範囲が飛躍的に拡大している現在、これまでコンピュータにとっては扱いにくかった不確実で非明示的な情報を取り扱うことが必要になってきている。例えばインターネットショッピングにおいて、顧客のニーズを以前の取引履歴や顧客管理情報から読み取り、目の前の顧客に最適な情報を推奨するリコメンデーションシステムの場合を考えてみよう。顧客リストの中から目の前の顧客にもっとも近い購買パターンを見つけるとしても、年齢や性別が同じだからといって同じ嗜好性を持っているとは限らない。また顧客が、登録時に申請したアンケートと同じ嗜好性をいつまでも持ち続けるというわけでもないだろう。そこで顧客のアクション (WWW ブラウジング履歴など) や属性、アンケート情報から総合的に判断して嗜好性を予測することが必要になるわけだが、必ずしも一つの答として決定できるとは限らない。その対象となる候補は同時に複数存在することもありえる。そしてそれぞれの候補についても「これまで見ていた WWW ページから、ユーザはおそらくサッカー関連の情報に興味がある可能性が高い」といった漠然とした不確実性を伴ったものとして扱うことが自然だろう。

こうした問題においては確率的な枠組みが有効である。サッカー関連の商品に興味のある可能性が 60%、旅行に興味のある可能性が 30% などというように複数の候補に確信度をつけ、不確実性を含んだ状態で取り扱うことができる。そして、直前に見ていたページが例えば韓国に関するものであった場合に、ワールドカップサッカー関連の情報、旅行関連情報、料理関連情報のそれぞれに興味のある確率を計算して、目の前の顧客が最も高い確率で関心を持つと思われる対象を提供することが考えられる。またこの確率を計算するには様々な多くの要因 (例えばアンケートで答えた趣味など) を考慮に入れて、その間の依存関係 (スポーツが趣味ならサッカーに興味がある可能性も高いなど) を利用することでより精度の高い予測が可能になる。

このような複数の要因の依存関係に基づいて確率計算

を行う情報処理モデルとしてベイジアンネットが最近、様々な分野で注目を集めている。とくに最近、一般に広く利用できるソフトウェアとして入手できるものも増え、先端的な企業が製品開発や研究に活用している例もある。

そこで本稿では、不確実性を含む問題へのアプローチの一つとして、誰もが比較的容易にベイジアンネットの利用を検討できることを目的として、ベイジアンネット関連のソフトウェアを紹介する。

### 2. ベイジアンネット

ベイジアンネットとは (1) 確率変数と (2) 確率変数間の条件付依存関係、(3) その条件付確率の 3 つによって定義されるネットワーク状の確率モデルである。(1) はノード、(2) はノード間に張った有向リンクで表され、リンクの先に来るノードを子ノード、リンクの元にあるノードを親ノードと呼ぶ。(3) は親ノードがある値をとった時に、子ノードがある値を取る条件付確率で、離散変数の場合には  $P(\text{子ノード} = y | \text{親ノード} = x_1, x_2, \dots) = p$  のような、子ノードと親ノードがとる全ての状態のそれぞれにおける確率値を列挙した表 (条件付き確率表) の形で表現する。このベイジアンネットを使うことで、(1) 一部の変数の値が観測できた時、未観測の変数についての確率分布を求めたり、(2) 確率が最も大きい値を変数の予測値として得ることができる。この計算を確率推論と呼ぶ。

車の故障診断の例を考えよう。エンジンが始動するためには点火系、燃料系、それにセルモータが勢よく回ることが必要である。もしエンジンがかからない時、故障の原因を探るために我々はどうのように考えるであろうか。真の原因は部品の不具合を直接観測するまではわからないとしても、バッテリーの古さや、燃料計の値、セルモータの回転する勢い (音) などから事前におおよその見当がつけられることもあるのではないだろうか。これをベイジアンネットでモデル化したものが図 1 である。バッテリーの容量が十分あればカーステレオの音がきちんと聞こえている、などの定性的な依存関係をグラフ構造で表し、さらにその上で、プラグがどの位古くなると

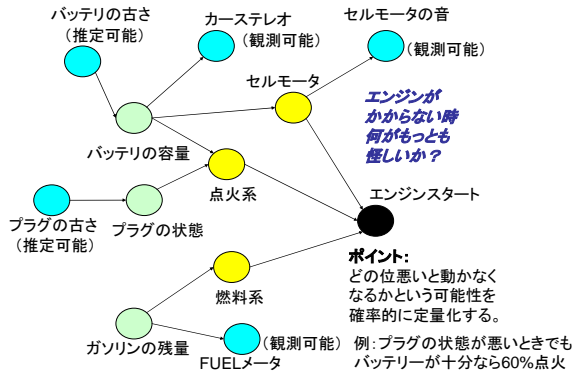


図 1 ベイジアンネットワーク: 車の故障診断の例

状態がどの程度劣化する可能性があるかといった定量的な依存関係を各条件付確率分布で表す。このベイジアンネットワークに運転席から観測したり推定できた情報を代入して、それぞれの要因に障害が発生している可能性を示す確率を計算する。その結果、もっとも不具合のある可能性が高い要因を中心に故障を診断することで最小のコスト(診断回数, 時間)で問題解決をはかることが可能となる。

さて、このような障害診断や先に紹介したりリコメンデーションシステムと同様に不確実性を含む問題領域は多い。そのような様々な問題にたいしても、対象についてベイジアンネットワークを構築し、その上で確率計算を実行する、という統一的方法論によって同じ様に取り扱うことができるのがベイジアンネットワークの一つのメリットであろう。例えばバイオインフォマティクス分野においても、DNAの解析データから遺伝子間の依存関係を表し、重要遺伝子を特定することで創薬へ応用する研究なども最近注目されている [有田 02]。

そこで幅広い様々な分野において、ベイジアンネットワークの確率推論やモデル構築手法を、誰もが、容易に、すぐに利用できるように、ソフトウェアの形で整備することは非常に意義の深いことである。以降では、こうしたベイジアンネットワークに関連する代表的なソフトウェアの中いくつかを紹介し、それらの機能、特徴や利用方法などができる限り伝えてみたい\*1。

### 3. 確率推論のためのソフトウェア

#### 3.1 Hugin

ベイジアンネットワークの上で確率値を計算する確率推論アルゴリズムについては 80 年代後半に盛んに研究が行われていた。ネットワーク全体を親から子の向きと子から親の向きにたどって確率を計算していき、その両者を統合する確率伝播アルゴリズム (belief propagation) 法が J.Pearl らにより確立された。これは向きを考慮しないネットワーク内の全てのパスがループを持たない singly

connected なネットワークの場合に適用できるアルゴリズムであった。さらにリンクの向きを考慮しないネットワーク中のパスの一つでもループを含む multiply connected なネットワークの場合にも適用できる効率の良い厳密計算として現在のところ、決定版とされているのが Junction tree アルゴリズム [Jensen 96] であり、これをはじめて実装したソフトウェアとして誕生したのがここで紹介する Hugin である。Hugin の特徴である Junction tree アルゴリズムは確率推論を効率良く正確に実行するために、ベイジアンネットワークの有向グラフ構造を無向グラフにした上でノードを併合したクラスタを作っていく、こうしてネットワークのグラフ構造を多重木に変換することで確率伝播法における計算上の問題を解決した。

1989 年の創業になるデンマークの Hugin Expert社はベイジアンネットワーク研究の先駆者である、Aalborg 大学で行っていたメンバを中心に設立され、以来、Hugin の開発と継続的な改良を続け、ベイジアンネットワークと Junction tree アルゴリズムの普及に大きく貢献している。また Hugin はベイジアンネットワークの教科書 [Jensen 96] にも試用版 (Windows 用のバイナリ) がフロッピーディスクで添付されており、教科書の読者が Hugin を実際に操作しながらベイジアンネットワークの動作を体験できるようになっていた。一方で実用的なアプリケーションのためには各種のプラットフォームのもとで、外部プログラムからも確率推論エンジンを利用することのできる API (他のプログラムから呼び出せるライブラリ) を提供し、その形態により商用、教育用など、いくつかの異なる種類の製品やライセンスが用意されている。ここでは試用版における基本機能を紹介する。まず Hugin を起動するとグラフ描画ソフトのような GUI を用いてネットワーク構造を作成する画面が現われる。さらに各子ノードごとに割り当てられるテーブルの中に条件付き確率を入力することでベイジアンネットワークを完成させる。次にこのベイジアンネットワークを使って確率推論を実行するために、一部のノードの値を設定すると、他のノードの確率値が更新される仕組みになっている。ただし、原理的には確率推論を実行する前には必ずモデルをコンパイルする必要があるので、一度作成したベイジアンネットワークは確率推論を実行している間は変化しないことが前提となり、ネットワーク構造が頻繁に変化するようなアプリケーションには向かない。WWW\*2からも試用版がダウンロードできるので、ベイジアンネットワークに興味のある方はともかく一度試してみることをお勧めする。

これまででは Junction tree アルゴリズムを軸とした確率推論機能の提供に注力していた Hugin であるが、最近のバージョンではさらにベイジアンネットワークモデルの構築のための機能も追加されてきている。またモデルをデータから構築する用途に特化したものとしては SPSS 社のデータマイニングソフトウェア、Clementine と連携する

\*1 ただし、紙面の都合もあり、ここでは筆者が実際に動作させてみたもの、筆者自身が開発したものを中心に紹介する。

\*2 <http://www.hugin.com>

Hugin Clementine Link がラインアップに加えられた。このようにデータマイニングの一手法としてベイジアンネットワークを適用する動きも最近活発になっている。

創業以来ベイジアンネットワークの研究開発と応用経験の歴史は伊達ではなく、Nokia 社や Hewlett-Packard 社でも使用されるなど、現在のところ、Hugin はもっとも実績あるベイジアンネットワークソフトウェアだと言えよう。

### 3.2 BayesBuilder

Hugin と同様に確率推論に比重を置いたソフトウェアとしてはオランダの Nijmegen 大学で開発された Bayes-Builder があり、やはりこれも Windows の実行形式が WWW で無償で公開されている\*3。操作系は非常にシンプルなものである。グラフ変換の不要な平均場近似による確率推論アルゴリズムの研究に定評のあるグループが開発を行っていることもあり、こうした理論的な研究成果が今後ソフトウェアに反映されることが期待される。

### 3.3 MSBNx

Microsoft 社の基礎研究部門である Microsoft research も精力的にベイジアンネットワークの研究とアプリケーションの開発を進めている。彼らは研究所内のソフトウェアコンポーネントとして MSBNx(Microsoft Bayesian Network) とよぶ Windows 用の実装系を完成させ、これを使った多くのアプリケーションソフトのプロトタイプを開発している。MSBNx 自体もやはり確率推論を実行するシンプルなベイジアンネットワークソフトウェアであるが、彼らのアプローチの特徴はその API を用いて開発した多くのアプリケーションソフト群にあり、これについては後で詳しく述べる。なお、MSBNx 自体は WWW からダウンロードすることも可能になっている\*4。

### 3.4 BayesNetToolbox

BayesNetToolbox\*5 は California 大学 Berkeley 校で管理されている MATLAB で実行するオープンソースのライブラリで、ベイジアンネットワーク関連の各種のアルゴリズムが利用・参照可能になっていることが特色である。MATLAB で動作することからも、実用的なソフトウェアというよりは、どちらかというソースコードを理解し、研究のために新たなアルゴリズムの評価実験を手早く行いたいという用途に向いている。一方で GUI などは未整備であるため、ベイジアンネットワークについての理解がないと利用することは比較的難しいと思われる。MATLAB を理解できる利用者にとっては、過去に発表された著名なアルゴリズムの多くをすでに実装してあり、それらを統一的に実験評価することも可能であるため、自らの研究を進めるには最適のツールであろう。作者の K.Murphy

は、これを C++ に移植し、さらに実用的なベイジアンネットワークを開発するためのプロジェクトである OpenBayes project や、WWW ページ\*6 においてベイジアンネットワークの解説や資料を公開するなど、米国の大学を中心にベイジアンネットワークの啓蒙活動を幅広く展開している。

## 4. モデル構築のためのソフトウェア

これまで紹介したソフトウェアはどちらかという確率推論を中心としたものであった。しかし実際にベイジアンネットワークを応用しようとした時に最初にぶつかる壁はどのようなベイジアンネットワークを構築すれば良いかという問題である。そこで興味の対象となる変数をもっとも良く予測し、本質的な問題構造を的確に表すベイジアンネットワークを構築できるソフトウェアが切望されている。ここではデータベースや変数間の規則を与えると、それにもっとも良く適合するベイジアンネットワークを構築するソフトウェアをいくつか紹介する。

### 4.1 Belief Network PowerConstructor

カナダの Alberta 大学に在籍していた Jie Cheng 氏が作成した Belief Network PowerConstructor\*7 はデータマイニングの国際会議で行われたコンペティション、KDD Cup 2001 の Task1 で優勝したソフトウェアである [Cheng 02]。このタスクで用いられたデータは血栓症に関係する酵素に反応する化合物 1909 例を取り上げたもので、そのうち実際には 42 例だけが酵素と結合するものだった。この化合物の特徴として二値の属性数 139,351 のトレーニングデータを与え、634 例のラベルなしデータから結合の有無を予測する。このデータは正例と負例のバランスが極端でありまた事例数に対して属性数が膨大であることが特徴的である。このソフトウェアは統計的に正統なモデル選択とは異なるが、Conditional Independence チェックと呼ぶ、計算効率を重視したアルゴリズムを用いている。これによって、変数間の依存関係を評価して、リンクを張るべきかどうかを判断しながら与えられたデータからベイジアンネットワークを構築していく。実際には相互情報量によりはじめに重要な属性を 200 だけ選択した後でモデル構築を行い、その結果作成されたベイジアンネットワークによって、テストデータに対するもっとも良い予測を与えた。このタスクの場合、化合物の特徴を説明変数とし、結合するかどうかを示す確率変数一つを目的変数としたモデルとなるので、構築されたベイジアンネットワークは決定木とよく似た構造となるのだが、決定木や通常の Bayesian Classifier(Naive Bayes) では独立として扱う説明変数間に依存関係が現われている点が興味深い。彼らはこれを BN classifier augmented Naive-Bayes とよび、実験評価を行った結果、予測能力を向上することができたと報

\*3 <http://www.mbfys.kun.nl/snn/Research/bayesbuilder/>

\*4 <http://research.microsoft.com/adapt/MSBNx/>

\*5 <http://www.cs.berkeley.edu/~murphyk/Bayes/bnt.html>

\*6 <http://www.cs.berkeley.edu/~murphyk/Bayes/Bayes.html>

\*7 <http://www.cs.ualberta.ca/~jcheng/bnsoft.htm>

告している [Cheng 99] .

#### 4.2 BayesWare Discover

BayesWare Discover はそれまでは大学にいた Paola Sebastiani と Marco Ramoni という二人の研究者が彼ら自身の研究成果をもとに、1999 年にベンチャー企業を興して商用化したベイジアンネット構築ソフトウェアである。現在は 30 日間の期間限定試用版が WWW<sup>\*8</sup> からダウンロードできる。これは、先の PowerConstructor とは違い、統計的にもより正統な方法、すなわち情報量基準によってモデル選択を行うアルゴリズムを使ってベイジアンネットを構築する。しかし、大局的に最適なグラフ構造を探索することは計算コストが過大となるため、局所的に最適なモデルを求め、それらを結合したものを最終的なモデルとする Greedy 探索が行われる。また学習アルゴリズムとしては経験ベイズ的なアプローチを用いることで、不完全なデータからでもベイジアンネットを構築できることを特徴としている。

#### 4.3 BAYONET

日本におけるベイジアンネット構築ソフトウェアとしては筆者が開発した BAYONET がある。BAYONET とは JAVA による実装としては世界でも最初期のベイジアンネットソフトウェアである 1996 年に作成されたバージョン [本村 96] を始めとし、以後通産省の RWC プロジェクト [麻生 02] などいくつかの研究プロジェクトの中で機能拡張が進められてきたソフトウェアシリーズの総称である。本来は、筆者の行う知能システム・機械学習研究の中で必要とする機能を実現するためのプロトタイプとして開発が行われたものである。当時まだベイジアンネットのモデル構築機能を持つソフトウェアが一般的でなかったことから、SQL データベースに格納された大量のデータとのインタフェースを始め、ベイジアンネットを構築するためのグラフ構造の探索機能、事前知識(ルール)の利用、GUI、Wizard スタイルの対話的なモデル構築など、様々な機能拡張を行ってきた。現在では標準的なモデル構築機能のほとんどを持っており、他のベイジアンネット構築ソフトウェアと比べても遜色はない。

それに加えて、BAYONET 独自の特徴として、ニューラルネットにより条件付き確率を学習、補完する方法を導入している [Motomura 97, Motomura 00b]。この手法は実際のデータの中には、しばしばデータに偏りや欠損値があるという問題や、連続値や多次元ベクトルの扱いが従来のベイジアンネットソフトウェアでは十分でないという問題を解決するために開発された。これは条件付き確率表を展開した連続空間上で階層型ニューラルネットが張る連続的な確率分布を考え、与えられたデータから学習したニューラルネットの汎化(近似)能力によ

#### ニューラルネットの汎化能力を利用した 欠損データの補完(疎データへの対応)

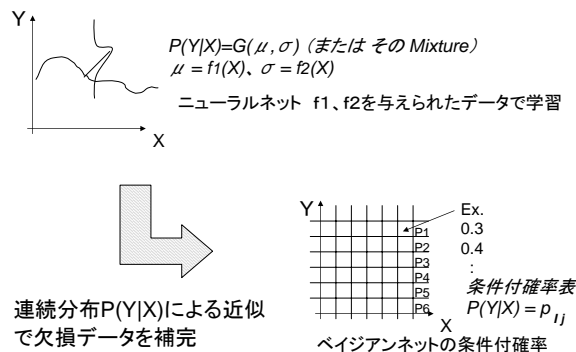


図 2 ニューラルネットによる条件付き確率の学習

て、データにない欠損している項目についての条件付き確率を推定するものである(図 2)。

また JAVA のリフレクション機能を利用して利用者が階層型ニューラルネットの代わりに独自の学習モジュールを追加したり、構築したベイジアンネットを使った確率推論を他のアプリケーションから TCP/IP 接続を經由して利用するための API を備えるなど、拡張性にも優れている。データベースとの連携においては、データをメモリに読み込むことなく、SQL の count コマンドを利用して頻度から条件付き確率を求めるため、データを全て転送する方法では取り扱えない大規模なデータに対しても適用できる特長がある<sup>\*9</sup>。構築したモデルは先に紹介した確率推論用のソフトウェア、Hugin や BayesBuilder と互換性のあるファイルフォーマットにより、これらの推論ソフトウェアでそのまま利用することができる。これを活かして BAYONET と Hugin を組み合わせた次世代コールセンター用のアプリケーションを開発するプロジェクトも始動している。現在、最新版である BAYONET-real は産総研イノベーションズを通じて企業へのライセンス供与、実用化が可能になった。またもちろん研究用途のために共同研究や技術研修の中で無償で利用することや、学術・教育用に限定した安価なライセンス、評価版なども準備しているので、利用を希望される方は WWW<sup>\*10</sup>、または筆者への電子メールで詳細を確認していただきたい。

## 5. アプリケーションソフトウェア

ベイジアンネットソフトウェアが数多く登場し、これまでアプリケーションごとに実装が必要だった高度な確率推論やモデル構築機能を、外部から呼び出せる API によって簡単に利用可能になったことで、ベイジアンネットを応用したアプリケーションシステムの開発効率が飛躍的に向上した。ここではそうしたアプリケーションソフ

\*9 この時、Linux などでも広く利用できるフリーのデータベース、PostgreSQL を使用できるのも特長である。

\*10 <http://staff.aist.go.jp/y.motomura/bayonet/>

\*8 <http://bayesware.com/>

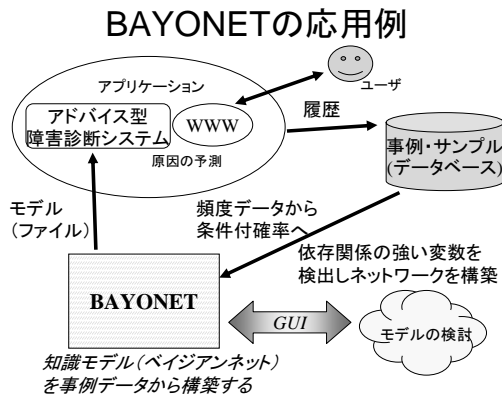


図 3 BAYONET の応用例

トウェアを紹介し、ベイジアンネットがどのように適用され効果をあげているのかを概観する。ベイジアンネットの応用としてもっとも成功しているのは複雑なシステムの故障診断と人間の行動をモデル化して予測するためのユーザモデリングであろう。そこで、故障診断の例としてはすでに実務レベルとなっている Hugin を用いた Hewlett-Packard 社のプリンタ障害診断と Dynasty 社の汎用トラブルシューティング用ソフトウェアパッケージを、ユーザモデリングの例としてマイクロソフト社で研究されているプロトタイプソフトウェアを例にあげて解説する。

5.1 障害診断への応用

Hugin Expert 社と Hewlett-Packard 社のカスタマーサポート R&D は Systems for Automated Customer Support Operations(SACSO) プロジェクトという共同開発により、HP 社のプリンタに関する障害診断・発見システムを開発した [Jensen 01]。障害診断システムへのベイジアンネットの応用は NASA や Intel, Nokia 社をはじめ多くの例がある\*11が、この SACSO プロジェクトの場合は、プリンタのような民生品で、エンドユーザがアクセスするカスタマーサポートにおけるシステムとして実用化した点が目を引く。

Hugin の API を利用したアプリケーションとしては日本でもすでに企業への販売活動などが行われている Dynasty 社\*12の WWW サービスシステム構築用のアプリケーションソフトウェア群がある。これを用いて実際に作成されたアプリケーションとしては対話型の医療系の診断システムがある。これは救急医療の窓口を訪れた患者の症状から正しく状況を判断し、緊急度へ情報提示を行うもので、専門外の応急対応、緊急度の判断、最適な専門部科の判断などを支援するシステムである。このソフトウェア群を適用することで、推論エンジン部のベイジアンネットを問題領域に応じて適切に構築し、それに合わせた入出力インタフェースを組み合わせれば、短

期間で本格的なアドバイス型障害発見・診断システムが構築できると期待される。

5.2 ユーザモデリングへの応用

ベイジアンネットを用いたユーザモデリングの実証的なプロジェクトとして代表的なものはマイクロソフトの Lumiere Project [Horvitz 98] であろう。この他にもマイクロソフトでは先の MSBNx を利用して、精力的にベイジアンネットを用いた応用ソフトウェアの開発が行われている。とくに言語処理・音声対話関連のアプリケーションが多く見られる [秋葉 02]。ここでは確率推論をユーザモデリングに利用したアプリケーションの例として Windows の代表的なソフトウェア Outlook をもじった LookOut という名前を持つソフトウェアを紹介する。

1998 年頃からマイクロソフトリサーチの社内で試用されているプロトタイプ LookOut は不確実性のもとでの意思決定、ユーザとシステムが協調する mixed-initiative interaction というキーコンセプトを実証するために開発された [Horvitz 99a]。基本的な機能はカレンダーの表示とスケジュール決定のためのユーザ支援であるが、LookOut は Windows のメールソフトである Outlook を使うユーザの操作をモニターし、ユーザが新しいメールを開くとそれを検出して、そのメールの内容を読み取り、スケジュール調整を行うためにカレンダーを開くかどうか、またいつ、どのようにユーザ支援動作を行うのが最も良いかなどを判断する。

LookOut がメールの内容を読み取る時の確率推論は次のようになる。それぞれのメールが到着すると LookOut はユーザが Outlook のカレンダーとスケジュールサブシステムを使う可能性を確率として計算する。この確率はメールヘッダの内容(メールの差し出し人や時間など)とテキスト文中に含まれるパターンによる確率推論で計算できる。この確率と、サービスを提供した場合にユーザがどれだけありがたいと思うかという効用、動作のコストを考慮した期待効用が最適なアクション(場合によっては何もしないこと)などを決定する。

各アクションの期待効用の値によって、ユーザを支援する動作を行うか、カレンダーの表示とスケジュール入力を自動的に実行するかどうか、またはその必要がないので邪魔をしない、といったいくつかの候補の中から最良の動作を決定する。この推論の中で LookOut は人がミーティングなどを記述するとき用いる典型的な語句、“Friday afternoon”, “next week”, “lunch”などを検出する。それらの表現から想定される様々な場合の可能性を考慮して、スケジュールの決定に関連する可能性を確率として計算し、適切なユーザ支援動作を決定する。

もしも特定の日時と相手とのミーティングを行う確率が非常に高い場合には、その内容に基づいたサブジェクトと内容を入力済みの Outlook が起動し、この内容で良いか、あるいは修正するかをユーザに確認する。もし

\*11 <http://excalibur.brc.uconn.edu/~baynet/fieldedSystems.html>  
 \*12 <http://japan.dynasty.com>

他のスケジュールとぶつかっていたら代替案として他の時間を探してからそれを表示する。一方、メールの情報が特定の日時を示している確率や、ミーティングを表す確率が低く、LookOut が起動するスケジュールリングサービスの期待効用が低い場合には、単にもっとも必要と思われる時期のカレンダーを表示するだけにとどめ、それ以上の余計な動作はしない。

ユーザが何をしたいと望んでいるかを確率と効用を通じてモデル化しているところ、そして観測だけでは確定できない事象に基づく不確実な意思決定を確率推論を用いることで実行しているところが、このシステムのポイントである。また、支援動作をキャンセルするなどのユーザからの適合性フィードバックを通じて、システムが学習できる点も非常に先進的である<sup>\*13</sup>。こうした自律的な判断の信頼性が向上すれば、複雑な機能を提供するシステムの場合でもユーザは比較的単純な操作を行うことでも所望のサービスを受けられるようになると期待され、運転中のドライバーに対するアシストなどではとくに重要な技術となるだろう。マイクロソフトの社内では他にもベイジアンネットを使ってユーザのリクエスト(サブゴール)を逐次推論しながら対話を行う受付案内のプロトタイプ、Bayesian Receptionist が稼働しているとのことである [Horvitz 99b]。

## 6. おわりに

ベイジアンネットは国内でもようやく日本語の文献 [石塚 97, 本村 00a, 白井 01, 佐藤 02] を目にする事ができるようになったがまだまだ海外と比べてその認知度は高いとは言えない。しかし技術レベルとしては理論研究から実験評価の段階を経て、今やソフトウェアとしての実装や応用、さらには特許化<sup>\*14</sup>、事業化へと確実に社会・産業へと浸透する段階に進みつつある。本稿を通じて人工知能研究者にとどまらず広く学生、プログラマ、システム設計者、企業経営者の方にもその実際を知っていたら、学術研究分野だけでなく日本の情報技術の発展にわずかでも貢献できれば幸いである。

本稿では(応用ソフトを除いて)筆者自身が実際に試すことのできたもの、読者がダウンロード可能なものを中心に紙面の許す限り紹介した。この他にも Lisp で書かれたものなど多くのベイジアンネットソフトウェアが公開されており、これらについては先にもふれた K.Murphy の WWW ページ<sup>\*15</sup> などに数多く紹介されているのでさらに興味のある方はそれぞれの目的に応じて調べてみていただきたい。

\*13 従来の製品に内蔵されていたアシスタント機能が余計なお世話と感じていたユーザにとっても、こうしたより控え目な支援機能と適合性フィードバックによるユーザへの適応機能などは好ましいと感じられるのではないだろうか。

\*14 複数の外資系企業がすでに日本においてもベイジアンネット関連の応用技術の特許を取得している。

\*15 <http://www.cs.berkeley.edu/~murphyk/Bayes/bnsoft.html>

## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [秋葉 02] 秋葉友良: 自然言語処理におけるベイジアンネット, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 5 (2002).
- [有田 02] 有田正規: ベイジアンネットとバイオインフォマティクス, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 5 (2002).
- [麻生 02] 麻生英樹: 特集「RWC-実世界知能」理論・アルゴリズム基盤, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 2, pp. 124-129 (2002).
- [Cheng 99] Cheng, J. and R.Greiner, : Comparing Bayesian Network Classifiers, *proceedings of the fifteenth conference on uncertainty in artificial intelligence* (1999).
- [Cheng 02] Cheng, J., Hatzis, C., Hayashi, H., Krogel, M., Morishita, S., Page, D., and Sese, J.: KDDD cup 2001 report, *ACM SIGKDD Explorations*, Vol. 3, No. 2 (2002).
- [Horvitz 98] Horvitz, E., Breese, J., Heckerman, D., Hovel, D., and Rommelse, D.: The Lumiere Project: Bayesian User Modeling for Inferring the Goals and Needs of Software Users, in *14th National Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence* (1998).
- [Horvitz 99a] Horvitz, E.: Principles of Mixed-Initiative User Interfaces, in *Proceedings of ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (1999).
- [Horvitz 99b] Horvitz, E.: Uncertainty, Action, and Interaction: In Pursuit of Mixed-Initiative Computing, in *Intelligent Systems, IEEE Computer Society* (1999).
- [石塚 97] 石塚, 古川 (監訳): エージェントアプローチ 人工知能, 15 章: 確率的推論システム, 共立出版 (1997).
- [Jensen 96] Jensen, F. V.: *An Introduction to Bayesian Networks*, University College London Press (1996).
- [Jensen 01] Jensen, F. V. and et.al., : The SACSO methodology for troubleshooting complex systems, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM)*, Vol. 15, pp. 321-333 (2001).
- [本村 96] 本村, 麻生, 原, 赤穂, 松井: 事情通口ポットにおけるニューラルベイジアンネットの学習, 人工知能学会第 4 回情報統合研究会 Technical Report SIG-CII-9601-04 (1996).
- [Motomura 97] Motomura, Y. and et.al., : Bayesian Network that Learns Conditional Probabilities by Neural Networks, in *Proc. of the Int. Conf. on Neural Information Processing and Intelligent Information Systems* (1997).
- [本村 00a] 本村, 佐藤: ベイジアンネットワーク-不確実性のモデリング技術-, 人工知能学会誌, Vol. 15, No. 4, pp. 575-582 (2000).
- [Motomura 00b] Motomura, Y. and Hara, I.: Bayesian Network Learning System based on Neural Networks, in *Proceedings of International Symposium on Theory and Applications of Soft Computing* (2000).
- [佐藤 02] 佐藤泰介: ベイジアンネット入門, ベイジアンネットセミナー BN2002 予稿集 (2002).
- [白井 01] 白井良明: 人工知能の理論 (増補), コロナ社 (2001).

[担当委員: x x ]

19YY 年 MM 月 DD 日 受理

## 著 者 紹 介

本村 陽一(正会員)

1993 年電気通信大学大学院電子情報学専攻修士課程修了。同年通産省工業技術員電子技術総合研究所に入所。現在、独立行政法人 産業技術総合研究所情報処理研究部門主任研究員、統計的学習、確率モデル、知的学習システムなどの研究に従事。1999 年アムステルダム大学招聘研究員。人工知能学会ベストプレゼンテーション賞, 研究奨励賞受賞。電子情報通信学会, 日本神経回路学会, 認知科学会各会員。