

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5692841号  
(P5692841)

(45) 発行日 平成27年4月1日(2015.4.1)

(24) 登録日 平成27年2月13日(2015.2.13)

(51) Int. Cl. F 1  
G06Q 10/00 (2012.01) G06Q 10/00 140

請求項の数 8 (全 27 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-109063 (P2010-109063)                  (22) 出願日 平成22年5月11日(2010.5.11)                  (65) 公開番号 特開2011-238031 (P2011-238031A)                  (43) 公開日 平成23年11月24日(2011.11.24)                  審査請求日 平成25年3月19日(2013.3.19)</p> <p>特許法第30条第1項適用 社団法人 日本船舶海洋工学会の主催の「平成21年秋季講演会」において、平成21年11月11日に文書をもって発表</p>	<p>(73) 特許権者 501204525                  独立行政法人海上技術安全研究所                  東京都三鷹市新川6丁目38番1号                  (74) 代理人 100098545                  弁理士 阿部 伸一                  (74) 代理人 100087745                  弁理士 清水 善廣                  (74) 代理人 100106611                  弁理士 辻田 幸史                  (72) 発明者 松倉 洋史                  東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内                  (72) 発明者 大和 裕幸                  東京都北区赤羽3-26-18-208</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	---

(54) 【発明の名称】 状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム及び状況を分類するツリー構造の自動生成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータに、入力手段から入力された事象  $X_i$  の初期条件を読み込む読込ステップと、

前記初期条件に基づき初期の分岐 を生成する分岐生成ステップと、

前記分岐 の評価値を計算する評価値計算ステップと、

隣接する前記分岐 の評価値の差を計算する評価値差計算ステップと、

前記評価値差計算ステップで得られた評価値差の最も大きい前記分岐 の間に新しい枝を追加する分岐追加ステップと、

前記分岐追加ステップで追加された前記新しい枝を備えたツリー構造から得られる情報 10  
 を出力する出力ステップと、 を実行させ、

前記初期条件は、初期の前記分岐 の数、初期の各前記分岐 の代表値、及び初期の各前記分岐 の分岐確率を含み、

前記分岐生成ステップでは、

前記初期条件として読み込まれた  $n$  個の前記事象  $X_i$  から、前記分岐 、及び前記分岐 の代表値  $v$  とその分岐確率  $p$  の組を用いて、初期の前記分岐 の集合  $x_n$  として表される初期イベントツリーを作成し、

前記初期イベントツリーから、シナリオ  $s$  の集合  $S$  を取得し、

前記評価値計算ステップでは、

前記事象  $X_i$  のある分岐 (  $x_i, = \{ v, p \}$  ) に対して前記分岐 を含む 20

シナリオ  $s$  の集合  $S$ 、及び前記集合  $S$  に属する各シナリオ  $s$  の分岐確率の集合  $p$  を用いて表される前記初期条件として読み込まれた期待値  $E$  を計算する評価式を用いて、前記事象  $X_i$  の前記分岐 ( $X_i, p = \{v, p\}$ ) に対する前記評価値を計算し、

前記分岐追加ステップでは、

分岐  $i_k$  と分岐  $i_{k-1}$  の間を前記評価値差が最も大きい区間とすると、前記分岐  $i_k$  と前記分岐  $i_{k-1}$  で囲まれる区間の確率分布の面積を二等分する点に前記新しい枝を挿入することを特徴とする状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム。

【請求項 2】

前記入力手段から入力された終了条件と前記出力ステップにおいて出力された前記情報とを比較する終了条件判断ステップをさらに備え、前記出力ステップの前記出力が前記終了条件に合致しない場合は前記出力が前記終了条件に合致するまで、前記評価値計算ステップ、前記評価値差計算ステップ、前記分岐追加ステップ及び前記出力ステップを繰り返すことを特徴とする請求項 1 に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム。

【請求項 3】

前記終了条件が、前記出力ステップにおける出力の推移に基づいて決められたものであることを特徴とする請求項 2 に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム。

【請求項 4】

前記読込ステップで読み込む前記初期条件は、各前記分岐  $i_k$  を生成する前記事象  $X_i$  の発生確率データ及び前記評価値計算ステップにおいて前記評価値を計算するための前記評価式を含んでいることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちの 1 項に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム。

【請求項 5】

前記出力ステップの出力は、前記分岐  $i_k$  の組み合わせである各前記シナリオ  $s$  における各前記分岐  $i_k$  を生成する前記事象  $X_i$  の代表値の組、前記シナリオ  $s$  の発生確率、及び前記シナリオ  $s$  のシナリオ評価値であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちの 1 項に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム。

【請求項 6】

前記出力ステップの出力は、状況による分類がなされた参考案であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちの 1 項に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム。

【請求項 7】

コンピュータと、入力手段と、出力手段とを備え請求項 1 乃至請求項 6 のうちの 1 項に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムを前記コンピュータに適用し、前記入力手段の入力に従って状況を分類するツリー構造を自動生成し、結果を前記出力手段に出力することを特徴とする状況を分類するツリー構造の自動生成装置。

【請求項 8】

事象  $X_i$  の初期条件を入力するための入力手段と、

前記入力手段により入力された初期条件に基づいて前記事象  $X_i$  を一定の区間で分割し、当該区間を代表する代表値とその発生確率により特定される分岐  $i_k$  を生成する分岐生成手段と、

前記分岐  $i_k$  のそれぞれについて評価値を計算する評価値計算手段と、

前記評価値計算手段により計算された評価値を記憶する評価値記憶手段と、

前記評価値のうち隣接する前記分岐  $i_k$  の評価値の差を計算する評価値差計算手段と、

前記評価値差計算手段により計算された評価値差が最も大きい分岐  $i_k$  の間に新しい枝を挿入する分岐追加手段と、

前記分岐追加手段により追加された前記新しい枝を備えたツリー構造から得られる情報を出力する出力手段とを備え、

前記初期条件は、初期の前記分岐  $i_k$  の数、初期の各前記分岐  $i_k$  の代表値、及び初期の各前記分岐  $i_k$  の分岐確率を含み、

前記分岐生成手段では、

10

20

30

40

50

前記初期条件として読み込まれた  $n$  個の前記事象  $X_i$  から、前記分岐、及び前記分岐の代表値  $v$  とその分岐確率  $p$  の組を用いて、初期の前記分岐の集合  $x_n$  として表される初期イベントツリーを作成し、

前記初期イベントツリーから、シナリオ  $s$  の集合  $S$  を取得し、

前記評価値計算手段では、

前記事象  $X_i$  のある分岐 ( $x_i, = \{v, p\}$ ) に対して前記分岐を含むシナリオ  $s$  の集合  $S$ 、及び前記集合  $S$  に属する各シナリオ  $s$  の分岐確率の集合  $p$  を用いて表される前記初期条件として読み込まれた期待値  $E$  を計算する評価式を用いて、前記事象  $X_i$  の前記分岐 ( $x_i, = \{v, p\}$ ) に対する前記評価値を計算し、

10

前記分岐追加手段では、

分岐  $i_k$  と分岐  $i_{k-1}$  の間を前記評価値差が最も大きい区間とすると、前記分岐  $i_k$  と前記分岐  $i_{k-1}$  で囲まれる区間の確率分布の面積を二等分する点に前記新しい枝を挿入することを特徴とする状況を分類するツリー構造の自動生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、企業などが重要な意思決定を行う際などに好適に用いられる状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム及び状況を分類するツリー構造の自動生成装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

企業が重要な意思決定を行う際、市場や社会状況などの多様な可能性のうち、可能性が高いと思われる少数の組合せのみの評価を基に判断を下していることが多い。しかし、現在から見た将来は様々な状況に変化する可能性の集合であり、それらを網羅的かつ確率的に考慮した上で判断を行うことが望ましい。このような、確率論的なアプローチの主要な利用分野は確率論的安全評価である。

この確率論的安全評価手法は、大規模かつ複雑であるにも関わらず高度の信頼性・安全性が求められる原子力発電所等の巨大システムを主たる対象として開発されてきた。検討すべき主要な多数の事象をシナリオとして想定し、その発生頻度と影響を定量評価することで、総合的な安全性を検討するものである。近年は原子力発電所のプラント設計・改良や安全審査において重要な役割を果たすようになってきている(平野ら, 連載講座 軽水炉の確率論的安全評価(PSA)入門 第1~7回, 日本原子力学会誌, vol.48, No.3 10)。

30

確率論的安全評価手法の典型的な手続きは以下になる。まず、事故のきっかけとなる事象を起点に、その後の進展状況及びそれへの対処の成功・失敗の組合せを事故シナリオ(あるいは事故シーケンス)で表現する。シナリオの骨格は通常、イベントツリー(Event Tree, ET)で表現し、シナリオを構成する各分岐への分岐確率はフォールトツリー(Fault Tree, FT)解析・GO FLOW手法(松岡猛, 確率論的安全評価のためのシステム信頼性解析手法GO FLOW 基本概念から実際の使用まで, CRCソリューションズ)などのシステム信頼性解析で求める。そして、各シナリオの発生確率と当該シナリオにおける被害の程度を計算・集計して、被害発生の様相を定量的に明らかにする。これにより、事故が発生する前にシステムにとって問題となる箇所を抽出し、対策を施すことが可能となる(T. ベッドフォード, 確率論的リスク解析基礎と方法, Springer(2006))。

40

一方、決定論的なアプローチによる安全性の評価は、事前に予想される頻度及び重大性から安全上検討すべき少数の事象のみを取り上げ、それらが起こった場合に安全が確保されるかを評価することでシステムが安全かどうか判断する。

この決定論的なアプローチには、確率論的なアプローチに比べて評価の実施コストが低いという長所がある。しかし、取り上げる事象数に制約があるため重大な結果をもたらすシナリオの検討漏れの恐れがあり、また、各シナリオの起こりやすさを直接には評価しな

50

いため、総合的な影響評価を行えないという欠点がある。

#### 【 0 0 0 3 】

確率論的なアプローチは、発生頻度と影響を加味した総合的な評価を可能とするものであるため、上述した原子力発電のプラント設計・改良や安全審査の他の分野においても、主として安全性を評価する基礎技術として導入研究が行われている。

例えば、Tsu Mu Kaoらの報告 (Tsu Mu Kao, Chun Sheng Weng, Applications of Quantitative Risk Assessment Technique on Liquefied Natural Gas Tanks System, 2008, P SAM9) では、液化天然ガスプラントの安全評価に関する研究について述べている。また、田辺らの研究 (田辺安雄, 山下正弘, 原子力発電所の P S A とその一般産業への適用, RE AJ誌, Vol.22, No.7, 2000, pp.607 615) では、I T S (Intelligent Transport Systems) のような将来の交通システム等への適用例が示されている。海事分野では、1993年に英国が国際海事機関 (I M O) に対して確率論的安全評価に基づいた総合的安全評価法 (F S A : Formal Safety Assessment) の導入を提案し、2001年に F S A 指針が採択されている (田村謙吉, 海技研のリスク評価技術戦略, <http://www.nmri.go.jp/main/research/happyoukai/H19/SS/SS15.pdf>)。また、安全性以外の観点での応用例としては、二酸化炭素貯留技術 (C C S : Carbon Capture and Storage) の評価について安全性に加えて性能や効率に関する評価指標を組み込んだ Claudia らの研究 (Claudia Vivalda, Laurent Jammes, Probabilistic Performance Assessment Methodology for long term subsurface CO2 storage, 2008, International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (PSAM) 9) がある。

このように、不確定要素を多様なシナリオとして捉え、網羅的に評価を行う確率論的安全評価手法は、原子力分野のみならず他分野への適用が有望であり、重要な役割を期待されつつある。

#### 【 0 0 0 4 】

確率論的安全評価手法に関し、フォールトツリーやイベントツリーを効率良く生成することを目的として、プラント内に発生する事象を事象発生の原因となる下位事象と下位事象の組み合わせから引き起こされる上位事象の関係で示したフォールトツリーを生成することが提案されている (特許文献 1)。しかし、同文献には、客観的な基準に基づいて効率的にイベントツリーを生成する方法については何ら記載されていない。

また、道路トンネルの構造や防火対策、設計交通量等の条件を加味して、道路トンネルの火災リスクを精度良く定量的に評価することを目的として、火災事故の発生頻度と、火災性状または被害の大きさに影響を与える各事象に基づいてイベントツリーを生成する方法が提案されている (特許文献 2)。しかし、同文献に記載されている方法は、標準イベントツリーを予め用意しておき、シナリオを設定する際に、表示装置に各事象の修正入力或いは追加入力を利用者に促し、利用者によって各事象に関する設定入力が行われるものであり、客観的な基準に基づいてイベントツリーを最初から生成するものではない。

また、過去の経験や知識にはない想定外の状況についても訓練を行うことが可能な訓練システムおよび訓練システムのシナリオ構築方法を提供することを目的として、イベントツリーによって形成されたシナリオを展開するシミュレーション手段を備えた訓練システムが提案されている (特許文献 3)。同文献に記載されている訓練システムでは、初期事象と複数の進展キーを時系列順に並べて予め構成されたイベントツリーが用いられているが、客観的な基準に基づいてイベントツリーを生成する方法については記述されていない。

また、災害進展シナリオの数を削減しながら推定確度を向上させることを目的として、評価対象の災害で想起されるイベントの中で結果に直接影響を与える要素で、かつ互いに成功と失敗に影響を与える要素のみに対してイベントツリーを生成し、災害抑止対策に対する成功時間の確率密度関数を生成するとともに、全てのシーケンスに同様の分岐をもたらす場合分けの要素をイベントツリーの外に出す方法が提案されている (特許文献 4)。同文献において提案されている方法は、全てのシーケンスに同様の分岐をもたらす場合分けの要素を除いてイベントツリーを生成するものであり、これらの事象をも含むイベント

ツリーを客観的な基準に基づいて生成する方法ではない。

【0005】

また、イベントツリーを自動で生成する手法の既存研究としてはAcostaら（非特許文献1）やChangら（非特許文献2）の研究がある。しかし、これらはあらかじめ状態変数による分岐条件を定めておき、シナリオを読み込ませた評価用シミュレータの計算する状態変数とその条件に合致した際に分岐を生成するというシーケンシャルなものであり、イベントツリーの生成状況を評価し、フィードバックするものではないから、本発明の方法、ツリー構造の生成状況を評価し、フィードバックする方法とは、ツリー構造を生成するためのアプローチが異なっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2002-24337号公報

【特許文献2】特開2006-318290号公報

【特許文献3】特開2004-279945号公報

【特許文献4】特開2002-288386号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】C.Acosta and N.Siu, Dynamic Event trees in Accident Sequence analysis Application to Steam Generator Tube Rupture, Reliability Engineering and Safety, Vol.41, pp135 154, 1993.

【非特許文献2】Chang YH, Mosleh A, Dynamic PRA using ADS with RELAP5 code as its thermal hydraulic module, Probabilistic safety assessment and management (PSAM) 4, September 13-18. New York: Springer, 1998.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述した確率論的なアプローチは、企業等における意思決定を支援するのに有効な評価手法となり得るが、イベントツリーを中心とした解析手続きは解析者による多くの判断や手間・時間を要する。客観性・正確性や工数・計算時間等の点において改善すべき余地が多く、自動でイベントツリー等のツリー構造を生成出来ればこれらの課題を改善することができる。

しかし、上述した特許文献1～4はいずれも、自動でイベントツリーを生成することができる客観的な方法を提案するものではない。また、上述した非特許文献1～2は、いずれも、状態変数とその条件に合致した際に分岐を生成するものであって、イベントツリーの生成状況を評価しフィードバックするものではない。

そこで、本発明は、解析者による多くの判断や手間・時間を削減し、発生確率を考慮した状況を分類するツリー構造を生成するのに要する計算量を減らし、客観性・正確性の向上や工数削減・計算時間短縮等を実現するため、イベントツリー等のツリー構造の生成状況を評価しフィードバックすることにより、客観的な基準に基づいて、効率的に状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム及び状況を分類するツリー構造の自動生成装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

請求項1に記載の本発明の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムは、コンピュータに、入力手段から入力された事象 $X_1$ の初期条件を読み込む読込ステップと、前記初期条件に基づき初期的分岐 $\_$ を生成する分岐生成ステップと、前記分岐 $\_$ の評価値を計算する評価値計算ステップと、隣接する前記分岐 $\_$ の評価値の差を計算する評価値差計算ステップと、前記評価値差計算ステップで得られた評価値差の最も大きい前記分岐 $\_$ の間に新しい枝を追加する分岐追加ステップと、前記分岐追加ステップで追加された前記新し

10

20

30

40

50

い枝を備えたツリー構造から得られる情報を出力する出力ステップと、を実行させ、前記初期条件は、初期の前記分岐  $x_i$  の数、初期の各前記分岐  $x_i$  の代表値、及び初期の各前記分岐  $x_i$  の分岐確率を含み、前記分岐生成ステップでは、前記初期条件として読み込まれた  $n$  個の前記事象  $X_i$  から、前記分岐  $x_i$ 、及び前記分岐  $x_i$  の代表値  $v$  とその分岐確率  $p$  の組を用いて、初期の前記分岐  $x_i$  の集合  $X_n$  として表される初期イベントツリーを作成し、前記初期イベントツリーから、シナリオ  $s$  の集合  $S$  を取得し、前記評価値計算ステップでは、前記事象  $X_i$  のある分岐  $(x_i, v = \{v, p\})$  に対して前記分岐  $x_i$  を含むシナリオ  $s$  の集合  $S$ 、及び前記集合  $S$  に属する各シナリオ  $s$  の分岐確率の集合  $p$  を用いて表される前記初期条件として読み込まれた期待値  $E$  を計算する評価式を用いて、前記事象  $X_i$  の前記分岐  $(x_i, v = \{v, p\})$  に対する前記評価値を計算し、前記分岐追加ステップでは、分岐  $x_{ik}$  と分岐  $x_{ik-1}$  の間を前記評価値差が最も大きい区間とすると、前記分岐  $x_{ik}$  と前記分岐  $x_{ik-1}$  で囲まれる区間の確率分布の面積を二等分する点に前記新しい枝を挿入することを特徴とする。

10

ここで、「初期条件」とは、既にあるツリー構造に関する条件をいい、これは、最小構成のツリー構造である必要はない。「分岐」とは、実数で表される事象や良い悪いといった程度で表され数値化することが可能な事象を一定の区間で分割し、当該区間を代表する代表値とその発生確率により特定されるものである。

また、「評価値」とは、当該分岐を評価するために用いられる値をいい、例えば、期待値などがあたる。また、「隣接する」分岐とは、ある事象に関する分岐を代表値に関して降順又は昇順に並べたときに、隣り合うこととなる分岐をいう。

20

また、「分岐追加ステップ」は、評価値差計算ステップにおいて計算された全ての事象に関する全ての評価値差を比較して、その中で最も評価値差の大きい分岐の間に新しい分岐が追加するものであり、事象毎に評価値差を比較して、その事象の中で最も評価値差の大きい分岐の間に新しい分岐を追加するものではない。

また、「新しい分岐を備えたツリー構造から得られる情報」とは、ツリー構造に基づいて得られる情報をいい、例えば、ツリー構造を構成する各事象の分岐を組み合わせたものであるシナリオの数、シナリオをもとに計算したシナリオ評価値、シナリオの発生確率、ツリー構造全体の示すシナリオ評価値の平均値等をいう。

【0010】

請求項 2 に記載の本発明は、請求項 1 に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムにおいて、前記入力手段から入力された終了条件と前記出力ステップにおいて出力された前記情報とを比較する終了条件判断ステップをさらに備え、前記出力ステップの前記出力が前記終了条件に合致しない場合は前記出力が前記終了条件に合致するまで、前記評価値計算ステップ、前記評価値差計算ステップ、前記分岐追加ステップ及び前記出力ステップを繰り返すことを特徴とする。

30

【0011】

請求項 3 に記載の本発明は、請求項 2 に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムにおいて、前記終了条件が、前記出力ステップにおける出力の推移に基づいて決められたものであることを特徴とする。

ここで、「出力の推移」とは、前記評価値計算ステップ、前記評価値差計算ステップ及び前記分岐追加ステップが繰り返される毎に、前記分岐追加ステップで追加された新しい分岐を備えたツリー構造に基づいて得られる出力の移り変わりをいう。例えば、当該出力の値の変化が一定値以下となったこと、出力の値が変化する方向が変わったこと、またシナリオ数が所定値に達したなどを終了条件とすることができる。

40

【0012】

請求項 4 に記載の本発明は、請求項 1 乃至 3 のうちの 1 項に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムにおいて、前記読込ステップで読み込む前記初期条件は、各前記分岐  $x_i$  を生成する前記事象  $X_i$  の発生確率データ及び前記評価値計算ステップにおいて前記評価値を計算するための前記評価式を含んでいることを特徴とする。

ここで、「分岐事象の発生確率データ」とは、何らかの根拠に基づいて当該事象を代表

50

値により代表させて分岐させた一定の区間の事象の発生確率に関するデータをいい、例えば、当該事象に関する過去の事実の統計的なデータや、確率分布関数などがあたる。また、「初期の分岐を生成するための情報」とは、初期の分岐の数、初期の各分岐の代表値、初期の各分岐の発生確率といった、初期の分岐生成に用いられる情報をいう。また、「評価値を計算するための評価式」とは、各分岐の評価値を計算するために用いられる式をいい、例えば、評価値として期待値を用いる場合には、ある分岐についてシナリオをもとに計算したシナリオ評価値に、そのシナリオの発生確率を乗じて得られる値の総和をその分岐の発生確率により除する式を用いることができる。

【 0 0 1 3 】

請求項 5 に記載の本発明は、請求項 1 乃至 4 のうちの 1 項に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムにおいて、前記出力ステップの出力は、前記分岐  $\_$  の組み合わせである各前記シナリオ  $s$  における各前記分岐  $\_$  を生成する前記事象  $X_i$  の代表値の組、前記シナリオ  $s$  の発生確率、及び前記シナリオ  $s$  のシナリオ評価値であることを特徴とする。

ここで、「分岐事象の代表値の組」とは、シナリオを構成する各事象の分岐の代表値の組み合わせをいう。また、「シナリオの発生確率」とは、シナリオを構成する各事象の分岐の分岐確率を乗じて得られるものをいう。また、「シナリオ評価値」とは、当該シナリオを構成している各事象の組み合わせにより得られる値をいう。

【 0 0 1 4 】

請求項 6 に記載の本発明は、請求項 1 乃至 5 のうちの 1 項に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムにおいて、前記出力ステップの出力は、状況による分類がなされた参考案であることを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

請求項 7 に記載の本発明の状況を分類するツリー構造の自動生成装置は、コンピュータと、入力手段と、出力手段とを備え請求項 1 乃至請求項 6 のうちの 1 項に記載の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムを前記コンピュータに適用し、前記入力手段の入力に従って状況を分類するツリー構造を自動生成し、結果を前記出力手段に出力することを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

請求項 8 に記載の本発明の状況を分類するツリー構造の自動生成装置は、事象  $X_i$  の初期条件を入力するための入力手段と、前記入力手段により入力された初期条件に基づいて前記事象  $X_i$  を一定の区間で分割し、当該区間を代表する代表値とその発生確率により特定される分岐  $\_$  を生成する分岐生成手段と、前記分岐  $\_$  のそれぞれについて評価値を計算する評価値計算手段と、前記評価値計算手段により計算された評価値を記憶する評価値記憶手段と、前記評価値のうち隣接する前記分岐  $\_$  の評価値の差を計算する評価値差計算手段と、前記評価値差計算手段により計算された評価値差が最も大きい分岐  $\_$  の間に新しい枝を挿入する分岐追加手段と、前記分岐追加手段により追加された前記新しい枝を備えたツリー構造から得られる情報を出力する出力手段とを備え、前記初期条件は、初期の前記分岐  $\_$  の数、初期の各前記分岐  $\_$  の代表値、及び初期の各前記分岐  $\_$  の分岐確率を含み、前記分岐生成手段では、前記初期条件として読み込まれた  $n$  個の前記事象  $X_i$  から、前記分岐  $\_$ 、及び前記分岐  $\_$  の代表値  $v$  とその分岐確率  $p$  の組を用いて、初期の前記分岐  $\_$  の集合  $x_n$  として表される初期イベントツリーを作成し、前記初期イベントツリーから、シナリオ  $s$  の集合  $S$  を取得し、前記評価値計算手段では、前記事象  $X_i$  のある分岐  $\_$  ( $x_i, \_ = \{ v, p \}$ ) に対して前記分岐  $\_$  を含むシナリオ  $s$  の集合  $S$ 、及び前記集合  $S$  に属する各シナリオ  $s$  の分岐確率の集合  $p$  を用いて表される前記初期条件として読み込まれた期待値  $E$  を計算する評価式を用いて、前記事象  $X_i$  の前記分岐  $\_$  ( $x_i, \_ = \{ v, p \}$ ) に対する前記評価値を計算し、前記分岐追加手段では、分岐  $\_$  と分岐  $\_$  の間を前記評価値差が最も大きい区間とすると、前記分岐  $\_$  と前記分岐  $\_$  で囲まれる区間の確率分布の面積を二等分する点に前記新しい枝を挿入することを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0017】

本発明の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラム及び状況を分類するツリー構造の自動生成装置は、読込ステップにおいて読み込まれた初期条件に基づいて、分岐生成ステップにより簡単な初期の分岐を生成した後は、評価値差計算ステップで計算された評価値差に基づいて、評価値差の最も大きい分岐の間に自動的に新しい枝を追加するものである。このため、客観的な基準に基づいて計算時間の短縮や工数を削減して効率的に、かつ正確にツリー構造を自動的に生成することができる。また、出力ステップにおいて出力された新しい分岐を備えたツリー構造から得られる情報に基づいて、当該ツリー構造の精度などを評価することができる。

10

また、本発明の状況を分類するツリー構造の自動生成プログラムが、終了条件判断ステップをさらに備えている場合、出力ステップの出力が終了条件に合致するまで、評価値計算ステップ、評価値差計算ステップ、及び分岐追加ステップを繰り返すことにより、終了条件として規定された条件を満足するツリー構造を自動的に生成することができる。

また、終了条件を出力ステップにおける出力の推移に基づいて決めることにより、出力の移り変わりに応じて適宜プログラムの実行を終了させることができる。

また、出力ステップの出力を各シナリオを構成する分岐事象の代表値の組、シナリオの発生確率、及びシナリオの評価値とすることにより、これらを参考として意思決定が行い易くなる。

また、出力ステップの出力として、意思決定のための参考案を出力することとすれば、例えば企業の意思決定のために有用な参考情報を提供することができる。

20

## 【図面の簡単な説明】

## 【0018】

【図1】本発明の実施の形態であるイベントツリー自動生成手法を説明するフローチャート

【図2】(A) イベントツリーによる分析の概要を示すイベントツリーの概要構造の説明図、(B) イベントツリーによる基本的な分析結果であるシナリオ評価値の最低評価値と発生確率との関係を示すグラフ

【図3】連続的な実数値をとる事象を区間で区切り、分岐を生成する方法の説明図

【図4】(A) 初期イベントツリーの模式図、(B) 新しい分岐が挿入されたイベントツリーの模式図

30

【図5】(A) 分岐追加ステップにおいて新しい分岐が追加される前の状態を示す説明図、(B) 分岐追加ステップにおいて追加された新しい分岐に発生確率を与える方法を示す説明図

【図6】本発明の実施の形態2のイベントツリーの自動生成装置の概略構成を示すブロック図

【図7】本発明の実施の形態2のイベントツリーの自動生成装置の要部構成を示すブロック図

【図8】本発明の実施の形態2のイベントツリーの自動生成装置の別の要部構成を示すブロック図

40

【図9】本発明の実施例と比較例1及び2の評価値の期待値の平均の推移を示すグラフ

【図10】本発明の実施例と比較例1のシナリオ評価の最小期待値の推移を示すグラフ

## 【発明を実施するための形態】

## 【0019】

(実施の形態1)

本発明の状況を分類するツリー構造としては、イベントツリーやデシジョンツリー等があるが、ツリー構造の自動生成プログラムの実施形態として、イベントツリーを自動的に生成する方法について以下に説明する。以下では、イベントツリーの自動生成方法の説明の前に、まず、イベントツリーを用いた確率論的評価の概要、及び状態量に着目したイベントツリーの生成について説明する。

50



## 【 0 0 2 0 】

〔 イベントツリーを用いた確率論的評価の概要 〕

イベントツリーによる確率論的な評価の概略について、図 2 ( A ) ( B ) に示す。

図 2 ( A ) は、イベントツリーを示している。各分岐事象 ( イベント  $X_i$  ) について、成功 / 失敗あるいは状態変数の値に応じて分岐を生成して場合分けをしていく。それぞれの分岐時には、分岐の示す代表値と分岐確率を計算する。各分岐の代表値のセットがシナリオ  $s_j$  となる。

次に、各シナリオ  $s_j$  の発生確率  $p_j$  と評価値  $g_j$  を計算する。各シナリオ  $s_j$  の発生確率  $p_j$  は、当該シナリオ  $s_j$  を構成している各分岐の発生確率の積であり、また、評価値  $g_j$  は、代表値のセットを評価用の関数あるいは評価シミュレータに与えて計算した結果となる。

イベントツリーから得られる最も基本的な情報は、図 2 ( B ) に示したような、( 1 ) 評価値の平均値と ( 2 ) 最低評価値の発生確率グラフである。前者により最も可能性の高い評価値が分かり、後者により、評価値の分布がどのような特徴を持っているのかが知ることが出来る。その他必要に応じて感度解析や不確実さ解析、重要度解析など ( 平野ら, 連載講座 軽水炉の確率論的安全評価 ( PSA ) 入門第 1 ~ 7 回, 日本原子力学会誌, vol.48, No.3 10, 2006 ) を実施することとなる。

なお、確率論的安全評価のイベントツリーにおいては、最初の事象は起因事象となるが、企業意思決定においては起因事象を必ずしも必要としない。また、イベントツリーは事象の成功 / 失敗や状態量の両方により分岐が生成されるが、本実施の形態では特に状態量に着目してイベントツリーを生成することとする。

## 【 0 0 2 1 】

〔 状態量に着目したイベントツリーの生成 〕

本実施の形態において自動で生成されるイベントツリーにおける分岐とは、連続的な実数値をとる事象を離散的に扱うことを意味する。連続的な実数値をとる事象を区間で区切り、分岐を生成した例を図 3 に示す。同図に示すように、連続的な実数値をとる事象のうち分割された区間の代表値を  $v$  とする。さらに、代表値  $v$  の生起する確率を  $p$  とし、これを分岐確率と呼ぶ。すなわち、各分岐は代表値  $v$  とその分岐確率  $p$  の組  $( v, p )$  によって構成され、連続的な事象を代表値  $v$  と分岐確率  $p$  を用いて離散的に扱うことを分岐としている。

従って、本実施の形態の提案手法におけるイベントツリーは、以下のように表すことができる。扱う事象を互いに独立な  $A$ 、 $B$  とすると、各事象の分岐は、 $\Omega_A$  の集合となる。そこで、事象  $A$ 、 $B$  をそれぞれ  $l$  ( エル ) 分岐させると、集合  $A$ 、 $B$  は、

【 数 1 】

$$A = \{ \omega a1, \omega a2, \dots, \omega al \} \dots (1)$$

$$B = \{ \omega b1, \omega b2, \dots, \omega bl \} \dots (2)$$

と表すことができる。ここで、それぞれの  $A$ 、 $B$  事象における分岐確率の総和は 1 となる。

イベントツリーは事象  $A$ 、 $B$  の直積集合  $A \times B$  として表すことができ、

$$A \times B = \{ ( a, b ) \mid a \in A, b \in B \} \quad (3)$$

となる、また、この集合の元  $s$  をシナリオと呼び、

$$s = \{ ( sa, sb ) \mid s \in A \times B \} \quad (4)$$

と表すことができる。さらに、イベントツリーから得られるシナリオの総数は集合  $A \times B$  の大きさ  $L$  となる。そして、これらのシナリオの生起する確率  $p_s$  は、

【 数 2 】

$$\forall s \in A \times B, \quad p_s = \{ p_{sa} \times p_{sb} \mid p_{sa} \in \omega_{sa}, p_{sb} \in \omega_{sb} \} \dots (5)$$

となり、その総和は1となる。また、このシナリオの生起する確率  $p_s$  をシナリオの発生確率と呼ぶ。そして、これらの各シナリオによって様々な環境が表現される。

本実施の形態ではこのようにしてイベントツリーを生成し、各要素の将来の変化を代表値と分岐確率を用いて表現している。そして、イベントツリーから得られるシナリオを用いることで、網羅的に将来の環境の変化を表現することができる。

#### 【0022】

〔イベントツリー自動生成手法〕

本発明の実施の形態であるイベントツリー自動生成手法（方法）の概要を、図4及び図1に基づいて、以下に説明する。

図4はイベントツリー生成手法の基本的考えを示している。まず図4(A)のように分岐数の少ない初期イベントツリーを用意する。次に、各分岐が含まれる全てのシナリオにおける評価値の期待値を計算し、続いて隣り合う分岐間の上記評価値の期待値の差（分岐間の感度） $d$ を計算する。最後に図4(B)のように、最も差が大きい、すなわち最も感度の高い区間（隣接する分岐間）に新しく枝（分岐）を挿入する。以上を十分な詳細度のイベントツリーが出来るまで繰り返す。

このように、少数の分岐からなる単純なイベントツリーからはじめ、イベントツリーの生成するシナリオの評価状況をフィードバックして、最も効果的と期待出来る区間に動的に新しい枝を生成していくのが本発明の手法の特徴である。

以下では、 $n$ 個の事象からなるイベントツリーを取り上げ、上記を具体化する手続きを述べる。なお、事象  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) の分布関数  $F_i$ 、確率密度関数  $f_i$  とする。

#### 【0023】

図1は、本実施の形態のイベントツリー自動生成手法を説明するフローチャートである。同図に示すように、本実施形態のイベントツリー自動生成手法は、入力手段から入力された事象の初期条件を読み込む読込ステップ(S10)と、前記初期条件に基づき初期の分岐を生成する分岐生成ステップ(S20)と、前記分岐の評価値を計算する評価値計算ステップ(S30)と、隣接する前記分岐の評価値の差を計算する評価値差計算ステップ(S40)と、前記評価値差計算ステップで得られた評価値差の最も大きい前記分岐の間に新しい分岐を追加する分岐追加ステップ(S50)と、前記分岐追加ステップで追加された前記新しい分岐を備えたイベントツリーから得られる情報を入力する出力ステップ(S60)と、前記出力ステップにおいて出力された前記情報と終了条件とを比較して終了条件を満足しているかについて判断する終了条件判断ステップ(S70)とを備えており、前記イベントツリーから得られる情報の出力が前記終了条件に合致しない場合は、前記イベントツリーから得られる情報の出力が前記終了条件に合致するまで、前記分岐追加ステップ(S50)で追加された新しい分岐を備えたイベントツリーに基づいて前記評価値計算ステップ(S30)、前記評価値差計算ステップ(S40)、前記分岐追加ステップ(S50)及び出力ステップ(S60)を繰り返すものである。以下に、上記の各ステップについて説明する。

#### 【0024】

〔(1)初期イベントツリーの生成〕

初期イベントツリーは、入力手段から入力された事象の初期条件を読み込む読込ステップ(S10)と前記初期条件に基づき初期の分岐を生成する分岐生成ステップ(S20)により生成する。

なるべく小さな木から始めるため、初期イベントツリーは、各事象についてそれぞれ2分岐のみとしたものとする。ただし後述のように、既存の分岐の内側に新しい枝を挿していくので、初期分岐の両枝（初期木）の外側は考慮しないこととなる。そのため両枝の幅はなるべく大きい方が望ましい。そこで初期イベントツリーでは、各事象の確率分布のそれぞれ上位・下位の  $a\%$  ( $a$ は小値)に相当する値を代表値として分岐するよう設定する。本実施の形態においては、2つの枝への分岐確率  $p$  は共に  $0.5$  とおく。

すなわち、事象  $X_i$  の2つの初期分岐（1、2の添字で表す）の代表値は  $v_{i1} = F_i^{-1}$

$1 ( X_i = a )$ 、 $v_{i2} = F^{-1} ( X_i = 1 - a )$ 、分岐確率は  $p_{i1} = p_{i2} = 0.5$  となる。分岐は  $\theta$  で表し、枝を表す事象  $X_i$  の代表値とその分岐確率の組を  $\theta_i = \{ v_i, p_i \}$  とすると、事象  $X_i$  の初期分岐の集合  $X_i$  は  $X_i = \{ \theta_{i1}, \theta_{i2} \}$  である。n 個の事象から作られる初期イベントツリーは下式のように  $X_1, X_2, \dots, X_n$  の直積集合として表される。

$$X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n = \{ ( \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n ) \mid \theta_1 \in X_1, \theta_2 \in X_2, \dots, \theta_n \in X_n \}$$

上記イベントツリーはシナリオ  $s$  の集合  $S$  でもある。

$$S = \{ s = ( \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n ) \mid \theta_1 \in X_1, \theta_2 \in X_2, \dots, \theta_n \in X_n \}$$

また、評価値はシナリオ  $s ( s \in S )$  に対して、評価関数  $g ( s )$  により求まるとする。なお、上記は初期以降のイベントツリーにも共通の表現である。 10

【0025】

なお、本実施の形態では、読込ステップにおいて読み込まれる入力手段から入力された事象の初期条件として、分岐事象の発生確率データ及び初期の分岐を生成するための情報を読み込んでいる。これにより、分岐生成ステップにおいて所望の初期分岐を生成することができる。

本実施の形態では、初期分岐を生成するための初期条件として、各事象の分岐数をいずれも2分岐、各分岐の分岐確率をいずれも0.5としている。しかし、初期の分岐は、これに限られるものではなく、各事象の分岐数を3以上としてもよく、各事象の分岐数を異ならせてもよい。また、分岐確率の異なる分岐を初期分岐としてもよい。 20

読込ステップにおいては、評価値を計算する評価式も初期条件として読み込まれるが、これについては後述する。

【0026】

〔(2) 各分岐の評価値の期待値を計算〕

各分岐の評価値を計算する評価値計算ステップ ( S 3 0 ) につき、以下に説明する。以下では、各分岐の評価値として、評価値の期待値を計算する方法について説明する。

各分岐の「評価値の期待値」とは、ある分岐の代表値を含むシナリオのみについて、各シナリオのシナリオ評価値にそのシナリオの発生確率を乗じて得られる値の総和のことをいう。事象  $X_i$  のある分岐  $\theta ( \theta \in X_i, \theta = \{ v, p \} )$  に対して分岐  $\theta$  を含むシナリオの集合  $S$  は以下となる。 30

$$S = \{ s = ( \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i, \dots, \theta_n ) \mid \theta_1 \in X_1, \theta_2 \in X_2, \dots, \theta_i \in X_i, \dots, \theta_n \in X_n \} = \{ s_1, s_2, \dots, s_m \}$$

また、 $S$  に属する各シナリオ  $s$  の発生確率の集合  $P$  は以下のように表される。

$$P = \{ p = f_1 ( v_1 ) * f_2 ( v_2 ) * \dots * f_i ( v_i ) * \dots * f_n ( v_n ) \mid s \in S, v_1 \in s, v_2 \in s, \dots, v_i \in s, \dots, v_n \in s \} = \{ p_1, p_2, \dots, p_m \}$$

以上から分岐  $\theta$  の評価値の期待値  $E$  は、分岐  $\theta$  の発生確率  $p$  を用いて下記のように表される。

【数3】 40

$$E_{\theta} = \sum_{j=1}^m P_{\theta j} g(s_{\theta j}) / p_{\theta}$$

この式が、評価値の期待値  $E$  を計算する評価式として、読込ステップにおいて初期条件として読み込まれる。

【0027】 50

## 〔 ( 3 ) 分岐間の感度を計算 〕

隣接する分岐の評価値の差を計算する評価値差計算ステップ ( S 4 0 ) につき、以下に説明する。

評価値差計算ステップでは、同一事象内における分岐間の感度、すなわち隣り合う分岐間における評価値の期待値どうしの差を全事象について算出する。すなわち、事象  $X_i$  が  $l_i$  本に分岐しているとして分岐間の感度  $d$  の集合  $D_i$  を全ての事象について求める。

## 【数 4】

$$D_i = \{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{il-1}\}$$

## 【 0 0 2 8 〕

## 〔 ( 4 - 1 ) 感度の高い区間に枝を追加 〕

前記評価値差計算ステップで得られた評価値差の最も大きい前記分岐の間に新しい分岐を追加する分岐追加ステップ ( S 5 0 ) につき、以下に説明する。

本実施の形態の分岐追加ステップでは、全事象を通じて最も大きな感度を持つ分岐の区間のうち、当該区間の確率分布の面積を 2 等分する点に新しい枝 ( 分岐 ) を挿入する。

具体的には、最も感度の高い区間を事象  $X_i$  の分岐  $i_k$  と  $i_{k-1}$  の間とすると、両分岐で囲まれる区間の確率分布の面積  $U$  は、 $U = 2 A_k = F ( v_{i_k} ) - F ( v_{i_{k-1}} )$  であり、新しい枝は下記の位置に挿入されることとなる。

$$v_{i_{new}} = F^{-1} ( X_i = F ( v_{i_{k-1}} ) + A_k )$$

なお、本実施の形態では、確率分布の面積を 2 等分する点に新しい枝 ( 分岐 ) を挿入したが、新しい枝を挿入する位置はこの点に限られるものではなく、例えば、最も感度の高い区間の真ん中の点に新しい枝を挿入することとしても良い。

## 【 0 0 2 9 〕

## 〔 ( 4 - 2 ) 枝の分岐確率を計算 〕

追加した枝及びその両側の枝の分岐確率を計算する。その際、両側の枝で囲まれた面積を 4 等分して隣接する枝に割り当てる。ただし、上記 ( 1 ) の初期イベントツリーの生成において確率分布のそれぞれ上位・下位の  $a\%$  を考慮していないことから、上記面積を初期時に両分岐で囲まれた面積  $U_0 ( = F ( v_2 ) - F ( v_1 ) )$  で割って規格化した値を当該分岐の発生確率とする。

図 5 ( A ) は枝を挿入する前の状態を表しており、 $v_{k-1}$ 、 $v_k$  の発生確率はそれぞれ  $p_{k-1} = ( A_{k-1} + A_k ) / U_0$ 、 $p_k = ( A_k + A_{k+1} ) / U_0$  である。次に

図 5 ( B ) で  $v_k$  と  $v_{k-1}$  の表す枝で囲まれた面積を等分する場所  $v_{new}$  に新しい枝を挿入する。その際、 $v_k$  と  $v_{k-1}$  の表す枝で囲まれた面積  $2 A_k$  は 4 等分され、新しい分岐確率は  $p_{k-1} = ( A_{k-1} + A_k / 2 ) / U_0$ 、 $p_{new} = A_k / U_0$ 、 $p_k = ( A_k / 2 + A_{k+1} ) / U_0$  となる。

ただし、初期イベントツリーで生成された分岐については、確率密度関数においてその両側を考慮しないため、 $A_{k-1} = A_{k+1} = 0$  である。

## 【 0 0 3 0 〕

以上のように、( 1 ) から始め、( 2 ) ~ ( 4 ) を十分な精度のイベントツリーが生成されるまで反復する。

より具体的には、終了条件判断ステップ ( S 7 0 ) において、前記入力手段から入力された終了条件と出力ステップ ( S 6 0 ) における出力とを比較して、イベントツリーから得られる情報の出力が終了条件に合致しない場合は、イベントツリーから得られる情報の出力が終了条件に合致するまで、分岐追加ステップ ( S 5 0 ) で追加された新しい分岐を備えたイベントツリーに基づいて評価値計算ステップ ( S 3 0 )、評価値差計算ステップ ( S 4 0 )、分岐追加ステップ ( S 5 0 ) 及び出力ステップ ( S 6 0 ) を繰り返す。

終了条件としては、例えば、出力ステップにおける出力の推移に基づいて決められたも

のを用いることができる。具体的には、イベントツリーから得られる情報である評価値の平均値の変化が所定の範囲内となることを終了条件とすることができる。このようにすれば、評価値の平均値の変化が小さくなったことを確認した上で、イベントツリーの生成を終了することができるから、信頼性の高いイベントツリーを得ることができる。なお、上記以外の終了条件としては、例えば、シナリオ数が挙げられる。

#### 【0031】

##### 〔自動生成手法の長所〕

上述した本実施の形態のイベントツリー自動生成手法を用いることでイベントツリーの生成に関して従来から広く行われている手法に比べて次の（ア）～（エ）のようなメリット（有利な効果）が得られる。

10

#### 【0032】

##### （ア）客観性の向上

従来手法ではシナリオ数が急激に増大して計算量が増えることのないよう常に留意する必要がある。そのため、取り上げる分岐事象は必要最小限にすることが通常である。

しかし、分岐事象が解析結果にどのように影響を与えるかは当該分岐事象を取り上げて分析を行って初めて分かるものであるため、ともすれば、解析者による「これは重要ではない」という主観により必要な事象を排除してしまう恐れがある。

上述した本実施形態のイベントツリーの生成手法においてもいわゆる組み合わせ爆発には注意が必要ではあるものの、新規に事象を取り上げても、それが感度の高いものではなく重要でなければただか2分岐するだけであり、従来手法に比べて計算量の増大に与える影響は小さいと期待出来る。重要か否か判断がつかないものでも解析に入れて計算してみることを比較的やりやすいという点で、客観性を向上できる。

20

#### 【0033】

##### （イ）正確性の向上

イベントツリーは本来連続である解析対象を非連続に場合分けするアプローチである。分岐数が増えればそれだけ対象の連続な取り扱いに近づき、正確性は向上すると期待出来る。しかし、分岐を多数加えると急激に計算量が増加し、実用的な時間内に解析を行うことが困難となる。

従来手法では、解析者の判断により各事象における分岐数を決めてイベントツリーを生成する。そのため、効果的ではない、換言すれば正確性への寄与が少ない箇所に分岐を加えることも多く、計算機資源を浪費してしまつて必要な正確性を確保できない恐れがある。

30

一方上述した本実施形態のイベントツリーの自動生成手法は、最小限のイベントツリーから始め、最も効果的な箇所に分岐を加えていくというものである。これにより、本実施形態の手法により生成されたものの方が従来のものと比較してより正確なイベントツリーとなることを期待出来る。

#### 【0034】

##### （ウ）計算時間の短縮

（イ）の理由により、従来手法と同じシナリオ数で比較すると本発明の提案手法の方がより正確なイベントツリーとなることを期待出来る。

40

また、新しく分岐を挿入した場合、新たに計算する必要があるのは、挿入した枝を含む全シナリオの発生確率とその評価値（シナリオ評価値）、及び挿入した枝の前後の枝を含むシナリオの発生確率のみである（前後の枝の関連するシナリオについては以前計算した評価値と同じであり、評価値を再計算する必要はない。本実施形態のイベントツリーの生成手法では過去に行った評価計算結果が不要となることはない）。評価値の計算が通常は最も時間を要し、他の計算に要する時間はわずかである（特に海上輸送システムの課題を扱った場合に経路探索を伴う場合などシナリオ評価値を求めるのに時間を要する場合、この傾向は顕著である）。枝を増やしたことによる計算時間の増加は最小限に抑えられる。

なお、従来では全ての枝の評価が終わらなければ結果を得られないのに対し、提案手法では解析者が解析結果の品質に満足できればどの時点でも計算を終えることが可能である

50

。以上により、組合せ爆発による計算量増大の制約を受けづらいのも長所である。

また、従来では、計算の結果得られた値がどの程度の精度であるのか把握することは不可能であったが、提案手法では、容易に値の推移を観察できるため、解の精度の目処を付けることが可能である。従来手法においては、イベントツリーのシナリオ数を次第に増加させながら平均値の推移を観察することは不可能ではないが、工数上からは非現実的である。

#### 【 0 0 3 5 】

##### (エ) 工数の削減

従来手法と比較した場合、提案手法を行うには新たに自動分岐生成システムと確率密度分布形式の事象の発生確率データを用意する必要がある。 10

自動分岐生成システムについては、解析対象に固有の要素はないため汎用的な解析システムを開発可能である。一度汎用の自動分岐生成システムを作成してしまえば再利用可能なため、従来と比較して工数上不利とはならない。

次に、確率密度分布形式の発生確率データについては、従来の取り組みでも解析者は意識的・無意識的にかかわらず分岐確率を与える際には想定していたものである。また、従来手法であっても不確実な解析を行う場合には必要なデータである。そのため本手法では明示的に確率密度分布の形で発生確率データを作成する手間はあるが、問題となるほどの工数増加とはならない。

以上より、解析の体制が整えば、後はほぼ自動で上記(ア)～(ウ)の特質を備えた解析結果を得ることが可能である。従来はイベントツリーの生成、結果の検討、必要な修正というサイクルを手作業で行わなければならなかったことを考えると、同程度の品質の解析結果を得るための工数としては大幅な削減が可能である。 20

なお、本手法は、状態量を分岐させる手続きに関し、企業意思決定のみならず、木構造で状態の場合分けを行うデシジョンツリーや従来の確率論的なアプローチ全般に利用可能である。

#### 【 0 0 3 6 】

##### (実施の形態 2)

本発明をイベントツリーの自動生成装置として実施する場合について、図 6 及び図 7 に基づいて以下に説明する。 30

図 6 は、本実施形態のイベントツリーの自動生成装置の概略構成を示すブロック図である。同図に示すように、本実施形態のイベントツリーの自動生成装置 40 は、コンピュータ 10、入力手段 20、出力手段 30 を備えている。以下、イベントツリーの自動生成装置 40 の構成について説明する。

#### 【 0 0 3 7 】

コンピュータ 10 は、CPU (中央演算処理装置) 11、メモリ (主記憶手段) 12、記憶手段 (補助記憶手段) 13 および入出力部 14 を備えている。CPU 11 はプログラムを解読して実行する装置である。メモリ 12 は、実施の形態 1 において説明したイベントツリーの自動生成プログラムを実行する過程で生じてくる中間結果などを記憶するものであり、DRAM 等のような半導体記憶装置により構成される。記憶手段 13 は、CPU 11 によるプログラムの実行において、初期条件、初期の分岐、評価値、評価値差、新しい分岐、新しい分岐を備えたイベントツリー、過去の出力、終了条件などを記憶するものであり、例えば、磁気ディスク装置 (Hard Disk)、光磁気ディスク装置、USB メモリなどのフラッシュメモリ装置、DVD、CD などの光ディスク装置等公知の記憶装置を用いることができる。また、記憶手段 13 は必ずしもコンピュータ 10 の内部に備えられていることは必要でなく、外部装置として電氣的にまたは回線を通じてコンピュータ 10 と接続されるものとして構成されていてもよい。入出力部 14 は、CPU 11、メモリ 12 と、入力手段 20、出力手段 30 との間の情報の受け渡しに用いられるものであり、通常 CPU 11 によって制御される。 40

#### 【 0 0 3 8 】

図7は本実施形態のイベントツリーの自動生成装置40のより詳細な要部構成を示すブロック図である。同図に示すように、本実施の形態のイベントツリーの自動生成装置40は、入力手段20、初期分岐生成手段111、評価値計算手段112、評価値差計算手段113、分岐追加手段114、情報出力手段115、出力手段30、及び記憶手段13を備えている。これらイベントツリーの自動生成装置40を構成する各部について、以下に説明する。なお、なお、記憶手段13は、メモリ12(図6参照)により、その機能の一部を分担することができる。

【0039】

入力手段20は、初期分岐を生成するために必要な情報である初期条件を入力するための手段であり、この初期条件が初期分岐生成手段111及び/又は記憶手段13に送られる。初期条件が記憶手段13に送られる場合、記憶手段13に記憶された後、当該初期条件が、初期分岐生成手段111によって必要に応じて読み込まれる。このように、初期条件を記憶手段13に記憶しておくことにより、後に必要となった場合に、初期条件として記憶されている情報を必要とする手段が初期条件を読み込んで利用することができる。このように必要に応じて読み込まれて利用されることは、記憶手段13に記憶された情報に共通である。

【0040】

初期分岐生成手段111は、初期条件に基づいて分岐を生成するものである。より具体的には、初期条件に基づいて、分岐を生成する事象を複数の区間に分け、各区間を代表する代表値とその分岐確率により特定される分岐を生成する。具体的な分岐の生成方法としては、実施の形態1において説明した方法を用いる。生成された分岐は、初期分岐生成手段111から評価値計算手段112及び/又は記憶手段13に送られる。

【0041】

評価値計算手段112は、分岐の評価値を計算するものである。具体的な評価値の計算方法としては、実施の形態1において説明した方法を用いる。計算された分岐の評価値は、評価値計算手段112から記憶手段13に送られる。このとき、評価値差計算手段113にも分岐の評価値が送られてもよい。

【0042】

評価値差計算手段113は、隣接する分岐の評価値の差を計算するものである。具体的な計算方法としては、実施の形態1において説明した方法を用いる。計算された分岐の評価値の差は、評価値差計算手段113から記憶手段13に送られる。このとき、分岐追加手段114にも分岐の評価値の差が送られてもよい。

【0043】

分岐追加手段114は、分岐の評価値の差が最も大きい分岐の間に新しい分岐を挿入するものである。新しい分岐を挿入する位置及びその発生確率の計算方法は、特に限定されるものではないが、例えば、実施の形態1において説明した方法を用いることができる。分岐追加手段114により追加された分岐は、代表値と分岐確率により特定されるものである。この追加された分岐の情報は、分岐追加手段114から記憶手段13に送られる。このとき、評価値計算手段112及び情報出力手段115にも追加された分岐の情報が送られてもよい。

【0044】

評価値計算手段112は、分岐追加手段114により追加された分岐について、評価値を計算する。そして、この評価値に基づいて、評価値差計算手段113による評価値差の計算、分岐追加手段114による新しい分岐の追加が繰り返される。この繰り返しにより、イベントツリーが生成されることとなる。この際、評価値計算手段112は、追加された分岐のみにつき評価値を計算すれば良く、既に計算して得られている評価値をそのまま利用することができるから、効率良くイベントツリーを生成することが可能である。

【0045】

情報出力手段115は、追加された分岐を備えたイベントツリーから、評価値の期待値の平均値、発生確率 - 最小期待値のグラフ、シナリオ数などの情報を得て、出力手段30

10

20

30

40

50

に出力するものである。上記情報を出力手段 30 に出力することにより、出力手段 30 を介して、評価値の期待値の平均値の推移等に基づいて、上記情報が出力された段階におけるイベントツリーの精度などを知ることができる。このため、例えば、出力手段 30 をモニターなどで構成し、評価値の期待値の平均値の推移を表示することとすれば、操作者は、評価値の期待値の平均値が変化しなくなったと判断した場合には、入力手段 20 から評価値計算手段 112 による分岐の評価値の計算を中止する指示を入力することにより、イベントツリー生成を終了させることができる。

#### 【0046】

図 8 は、図 7 の出力手段 30 の代わりに、終了条件判断手段 116 を備えたイベントツリーの自動生成装置 40 の要部構成を示すブロック図である。同図に示すイベントツリーの自動生成装置 40 は、入力手段 20、初期分岐生成手段 111、評価値計算手段 112、評価値差計算手段 113、分岐追加手段 114、情報出力手段 115、終了条件判断手段 116、出力手段 30 及び記憶手段 13(12) を備えている。図 7 を用いた説明と同じ機能のものについては、同じ番号を付して説明を省略する。

#### 【0047】

図 8 に示したように、同図の情報出力手段 115 は、追加された分岐を備えたイベントツリーから、評価値の期待値の平均値、発生確率 - 最小期待値のグラフ、シナリオ数などの情報を得て、終了条件判断手段 116 に出力するものである。これら情報を終了条件判断手段 116 に出力することにより、予め入力手段 20 から入力された終了条件と上記の情報とを比較して、客観的な基準に照らして自動的にイベントツリー生成を終了させることができる。

すなわち、終了条件判断手段 116 は、情報出力手段 115 から出力された情報が終了条件を充足している場合にのみ、評価値計算手段 112 に対し、評価値の計算を終了させる指示を出力する。これにより、イベントツリーの生成が終了する。終了条件としては、例えば、情報出力手段 115 から出力された情報の推移、より具体的には評価値の期待値の平均値の変化が一定範囲内となったことが挙げられる。これを終了条件とすることにより、自動的に精度の高いイベントツリーを生成することが可能となる。なお、上記以外の終了条件としては、シナリオの数や、平均値の変化する方向(上昇または下降)が変ったこと等が挙げられる。

情報出力手段 115 及び / 又は終了条件判断手段 116 は、終了条件判断手段 116 の終了条件を充足しなくとも、一回の計算毎にその結果を出力手段 30 に出力することができる。すなわち評価値の期待値の平均値、発生確率 - 最小期待値のグラフ、シナリオ数などの情報を刻々と出力し、終了条件に対する現時点の状況もモニターなどで操作者が確認することができる。

#### 【実施例】

#### 【0048】

本発明の状況を分類するツリー構造の自動生成手法により、効果的にイベントツリーを生成出来ることを示すため、下記の例題を試計算した。なお、以下では、各事象の確率分布のそれぞれ上位・下位の 2.28% に相当する値を代表値として分岐するよう設定した。

3 種の独立な事象  $X, Y, Z$  があり、それぞれを表す変数  $v_x, v_y, v_z$  の確率密度関数  $f$  が、下記の平均  $\mu$  及び標準偏差  $\sigma$  の対数正規分布に従うものとする。

$$v_x: \mu = 6.380, \quad \sigma = 1.219$$

$$v_y: \mu = 7.000, \quad \sigma = 1.400$$

$$v_z: \mu = 5.000, \quad \sigma = 1.500$$

ここで上記に対し、評価値  $g$  を以下のように定義する場合、評価値の平均値はどのようになるかを本発明の提案手法で求める。その際、各分岐事象の値の組  $(v_x, v_y, v_z)$  がシナリオ  $s$  となる。

$$g(s) = v_x + v_y + v_z$$

なお、上記の具体例としては、3 つの異なる地域で油田を開発した場合の合計埋蔵量の期

10

20

30

40

50



待値の評価などがある（<http://www.weblio.jp/content/油田規模分布>）。

【 0 0 4 9 】

[ 比較例 ]

従来のイベントツリーの分岐生成方法として代表的と思われるものとして以下の2種類を取り上げる。1つは、確率変数の変化域を等分割して分岐を設定するものであり、もう1つは確率密度関数の面積を等分割するものである。以下、前者を比較例1、後者を比較例2と記す。

【 0 0 5 0 】

[ 比較例1（値の等分割） ]

事象  $X$  が分布関数  $F(x)$  に従っているとき、確率変数の存在範囲の最小値  $min$ 、最大値  $max$  を下記とする。この際、最小値  $min$  と最大値  $max$  間の確率密度関数の面積は  $U = 0.9554$  となり、これを全体とみなすこととする。このことについては、後述する比較例2についても同様である。

$$\text{最小値 } min = \mu - 2 = F^{-1}(0.0228)$$

$$\text{最大値 } max = \mu + 2 = F^{-1}(0.9772)$$

最小値  $min$ 、最大値  $max$  の間を  $n$  等分する。ここで値域を  $n$  個に等分割する際の代表値間の間隔、各分岐の始点  $a$  と終点  $b$  の集合  $A$ 、 $B$ 、それぞれの代表値  $v$  及び分岐確率  $p$  の集合  $V$ 、 $P$  は以下となる。

$$= (max - min) / 2n$$

$$A = \{ a_i = min + 2(i - 1) \mid a_i \in X (i = 1, 2, \dots, n) \}$$

$$B = \{ b_i = a_i + 2 \mid b_i \in X, a_i \in A (i = 1, 2, \dots, n) \}$$

$$V = \{ v_i = min + (2i - 1) \mid v_i \in X, (i = 1, 2, \dots, n) \}$$

$$P = \{ p_i = (F(b_i) - F(a_i)) / U \mid a_i \in A, b_i \in B (i = 1, 2, \dots, n) \}$$

【 0 0 5 1 】

[ 比較例2（面積の等分割） ]

最小値  $min$ 、最大値  $max$  間の確率密度関数の面積を  $n$  等分する。ここで値域を  $n$  個に等分割する際の、代表値  $p$  及び分岐確率  $p$  の集合  $V$ 、 $P$  は以下となる。

$$V = \{ v_i = F^{-1}((2i - 1)U / 2n + 0.0228) \mid v_i \in X, (i = 1, 2, \dots, n) \}$$

$$P = \{ p_i = 1/n \mid a_i \in A, b_i \in B (i = 1, 2, \dots, n) \}$$

【 0 0 5 2 】

[ 評価結果 ]

評価値の期待値の平均値  $E$  の推移を観察する。本実施例では近似値を計算することが出来、 $E$  は約 3566.6 である。図9に提案手法である実施例のイベントツリー自動生成手法と従来手法である比較例1及び2における評価値の期待値の平均値  $E$  の推移を示す。

評価値の期待値の平均値  $E$  の推移から、シナリオ数が729本における正しい値との乖離は、従来手法1（比較例1）で約 +9.9%、従来手法2（比較例2）で -5.2% と大きく、未だ漸近途上であるのに比べ、提案手法（実施例）では（上記に最も近いシナリオ数である）720本で乖離は +0.06% 未満と高い精度に達している。このように、提案手法である本実施例のイベントツリー自動生成手法により生成されたイベントツリーの方がイベントツリー全体の評価値が、早く正確な値となっていた。

【表1】

方法（シナリオ数）	評価値の平均	近似値からの乖離（%）
比較例1（729本）	3, 918.1	+9.9
比較例2（729本）	3, 381.4	-5.2
実施例（720本）	3, 568.6	+0.06
近似値	約 3, 566.6	-

## 【 0 0 5 3 】

## [ ( 2 ) イベントツリーの分岐の網羅性について ]

イベントツリーの分岐が必要な網羅性をもつことを検討するため、最低評価値の確率形状の推移を図 1 0 に示す。

図 1 0 で、実施例の結果である P 1、P 2、P 3 ( P : Proposed ) は、従来手法でシナリオ数がおおよそ同じである比較例 1 の結果である C 1、C 2、C 3 ( C : Conventional ) がそれぞれ対応する比較対象である。

前述のように、イベントツリーは本来連続である解析対象を非連続に場合分けする手法である。分岐数 ( シナリオ数 ) が増えればそれだけ対象の連続な取り扱いに近づき、正確性は向上すると期待出来る。そのため、( 1 ) の結果と併せて、図 1 0 の形状においては比較例 1 よりも実施例の方が、またその中でも P 3 がより正確な形に近いと期待出来る。 10

実施例ではシナリオ数が少ない P 1 でも P 3 に近い形状となっているが、比較例 1 では C 3 であっても曲線の両端において P 3 とはかなり異なった形状である。イベントツリーの分岐の網羅性は実施例の方が優れている。

以上 ( 1 ) ( 2 ) の検討から、実施例では、従来手法による比較例 1 及び比較例 2 よりも優れたイベントツリーを効率的に生成可能であることが分かる。

## 【 産業上の利用可能性 】

## 【 0 0 5 4 】

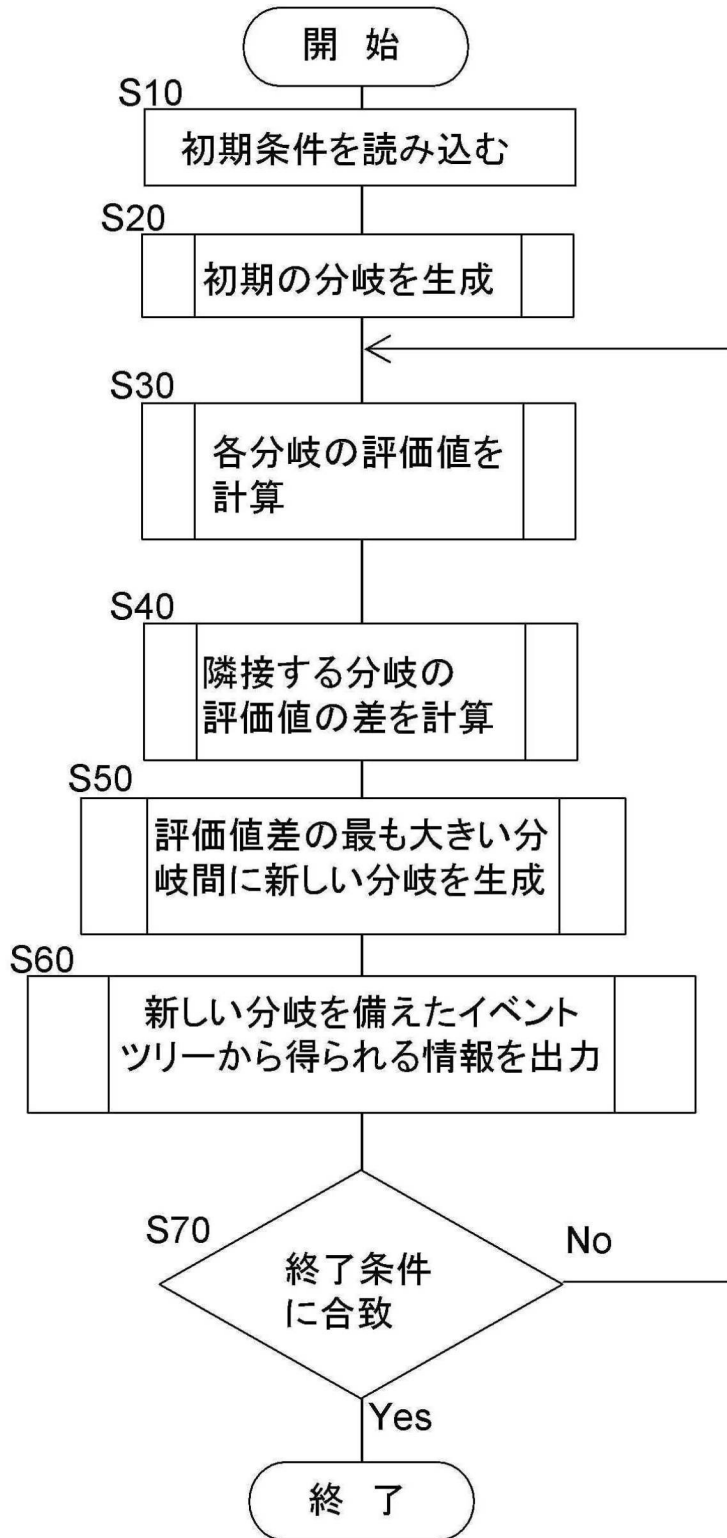
本発明は、状態量の場合分けする手続きに関し、企業意思決定を対象としたイベントツリーのみならず、従来の確率論的なアプローチ全般や木構造で状態の場合分けを行うデシジョンツリー等に利用可能である。 20

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 5 5 】

- 1 0 コンピュータ
- 1 1 C P U
- 1 1 1 初期分岐生成手段
- 1 1 2 評価値計算手段
- 1 1 3 評価値差計算手段
- 1 1 4 分岐追加手段
- 1 1 5 情報出力手段
- 1 2 メモリ ( 評価値記憶手段 )
- 1 3 記憶手段 ( 評価値記憶手段 )
- 1 4 入出力部
- 2 0 入力手段
- 3 0 出力手段
- 4 0 イベントツリーの自動生成装置 ( 状況を分類するツリー構造の自動生成装置 )

【図 1】



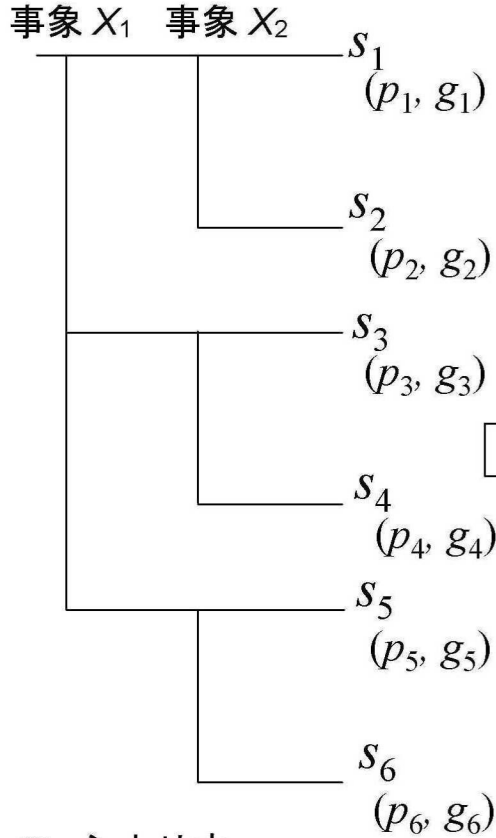
【図 2】

(A)

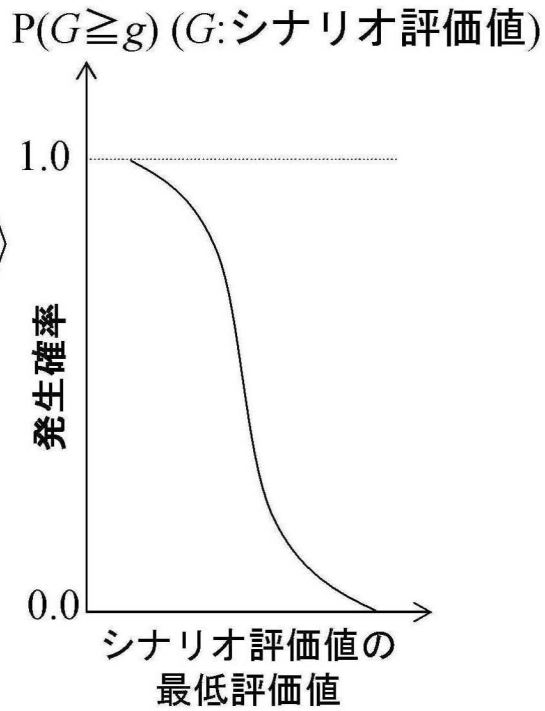
(B)

[イベントツリー]

[基本的な分析結果]

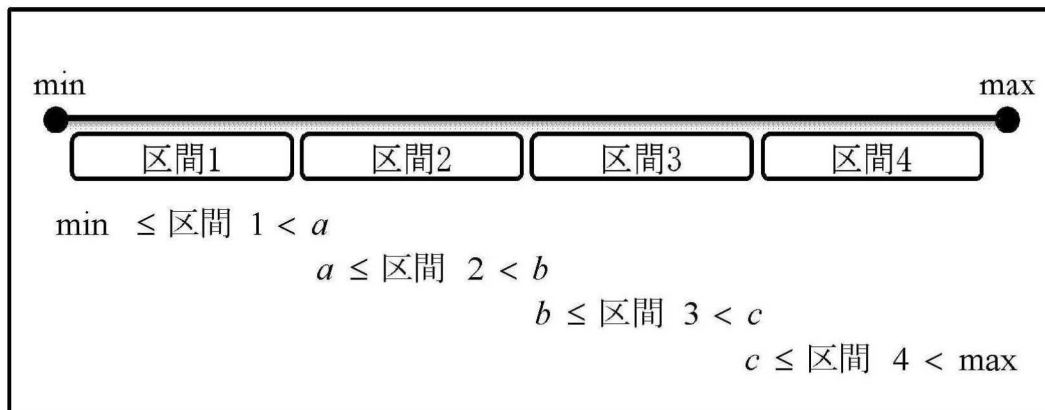


- (1) シナリオ評価値の期待値:  $\sum (p_j g_j)$
  - (2) 発生確率 —
- シナリオ評価値の最低評価値グラフ



$s_j$ : シナリオ  
 $p_j$ : シナリオ全体の発生確率  
 $g_j$ : シナリオ評価値

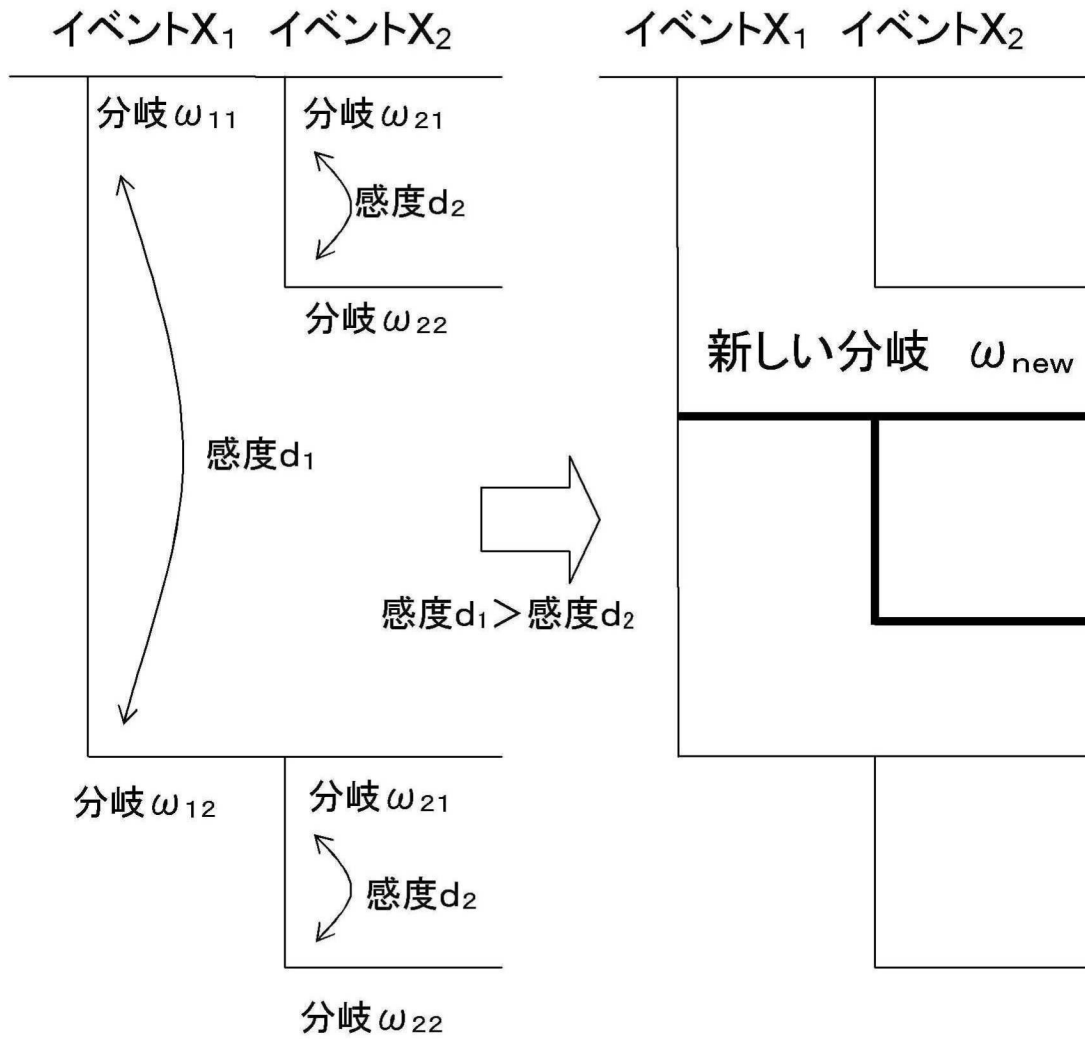
【図 3】



【図4】

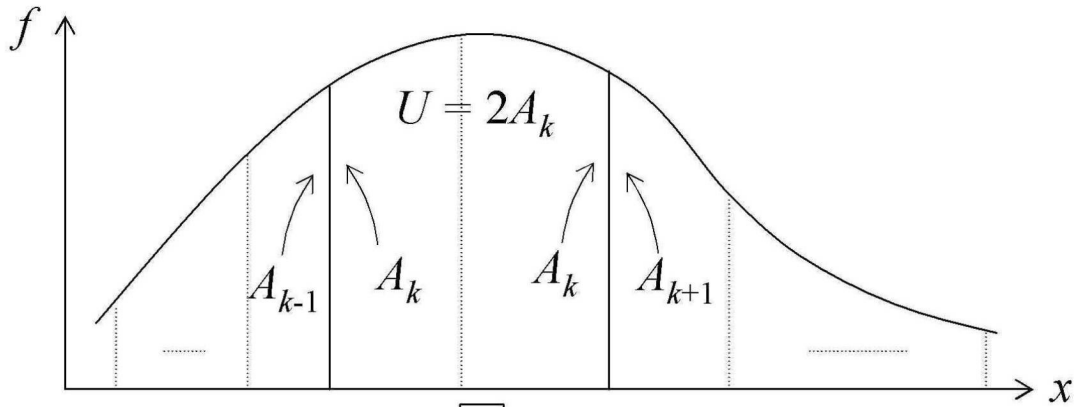
(A)

(B)

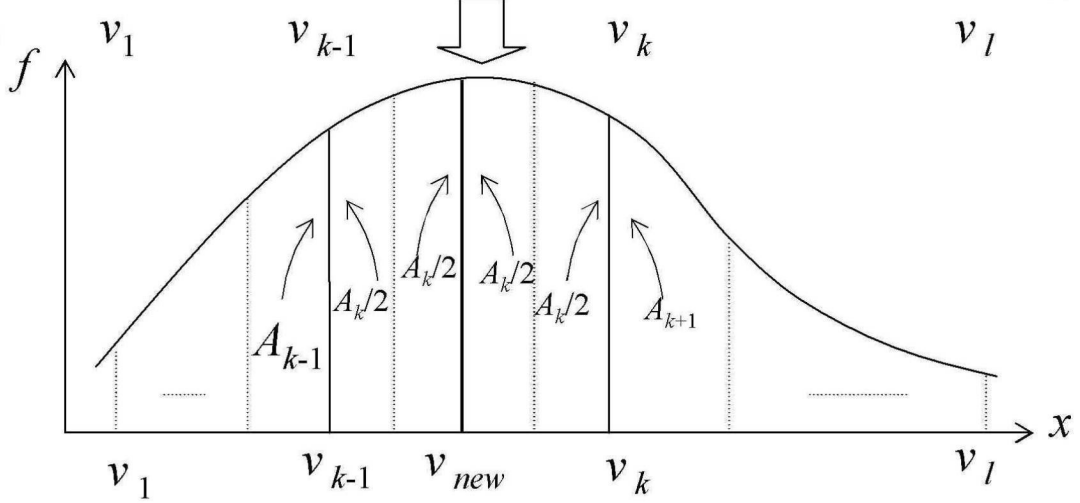


【図 5】

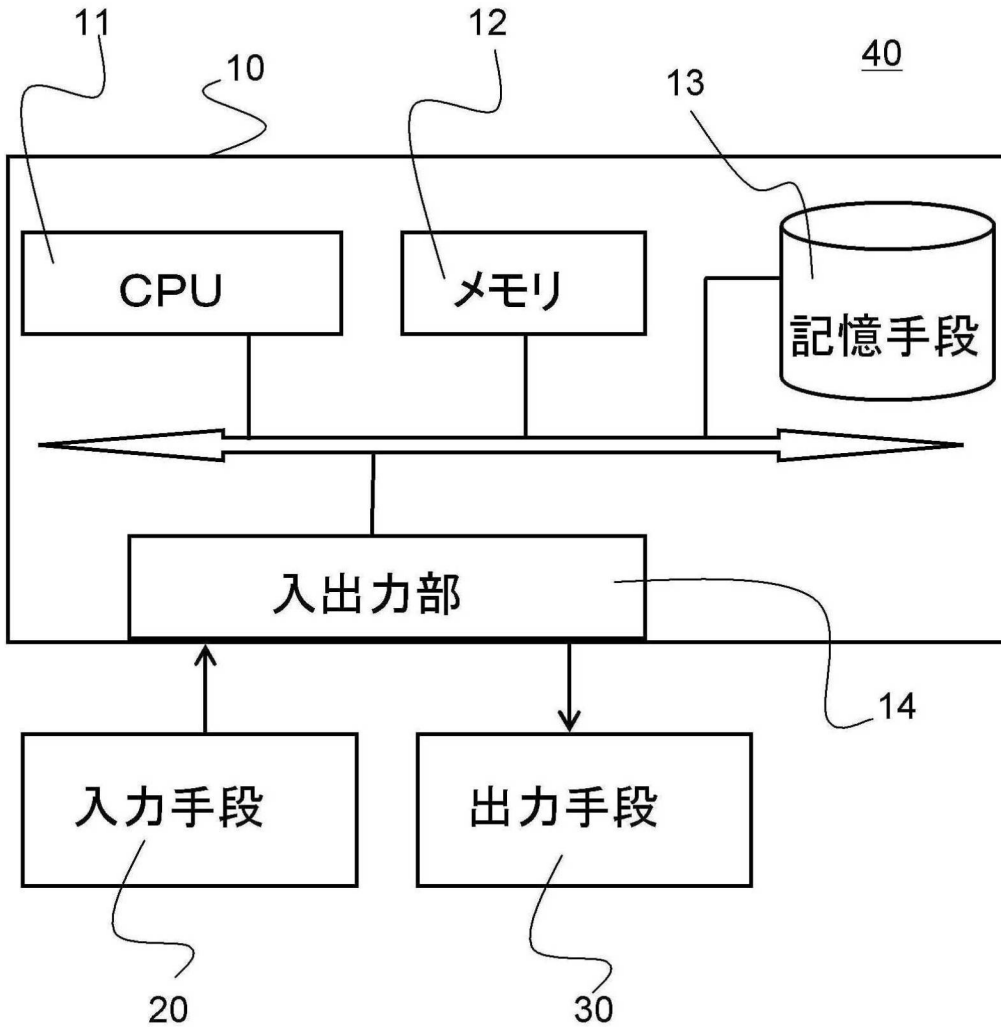
(A)



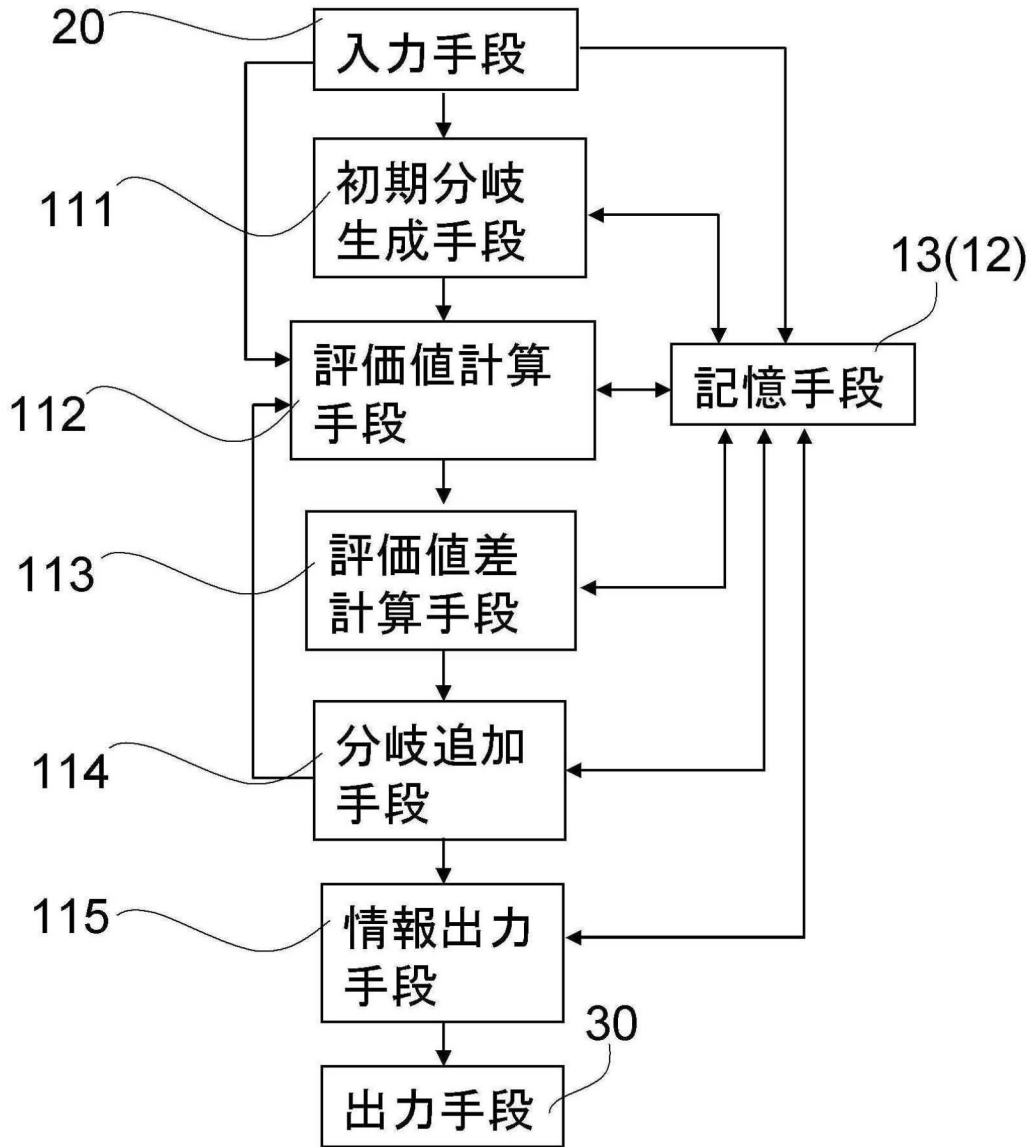
(B)



【図6】

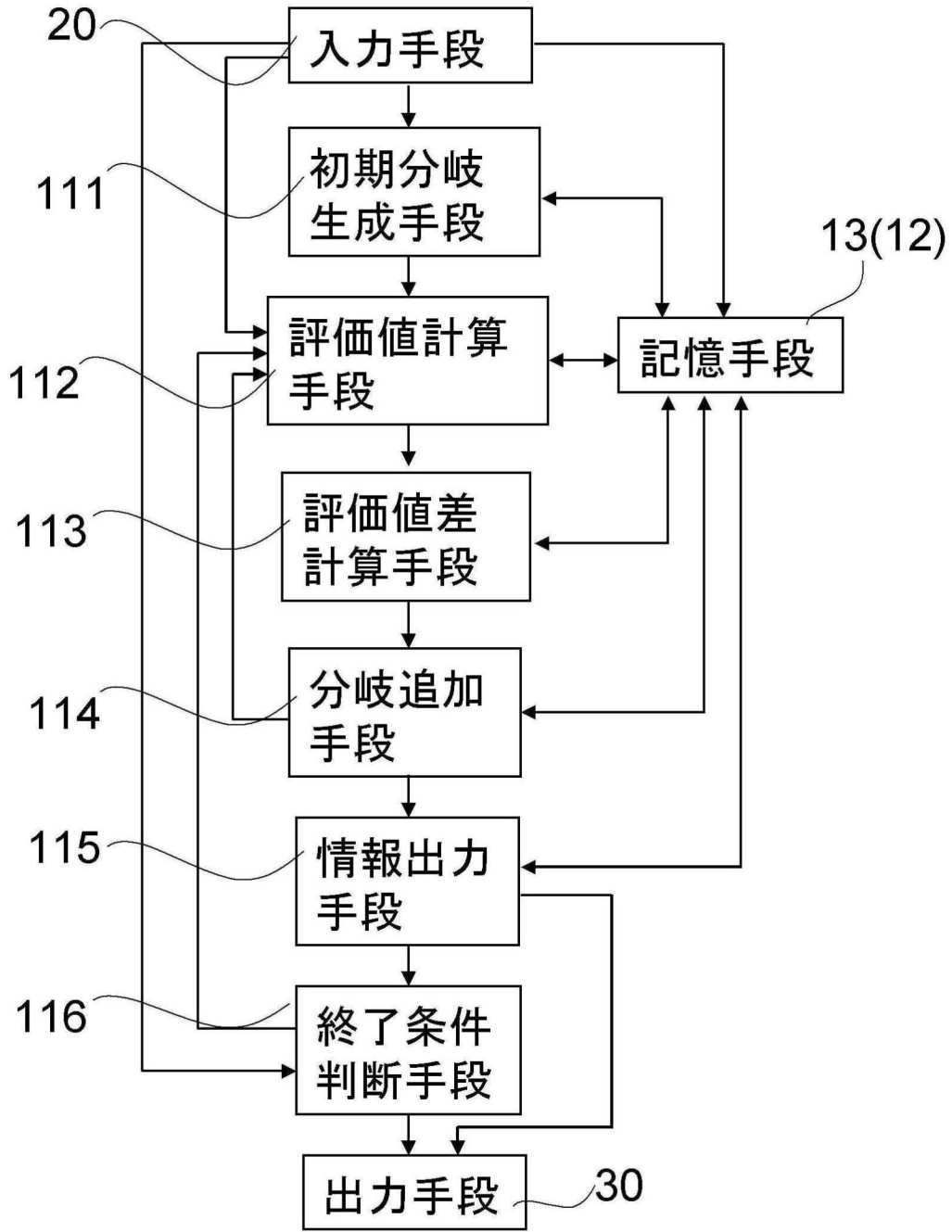


【図7】

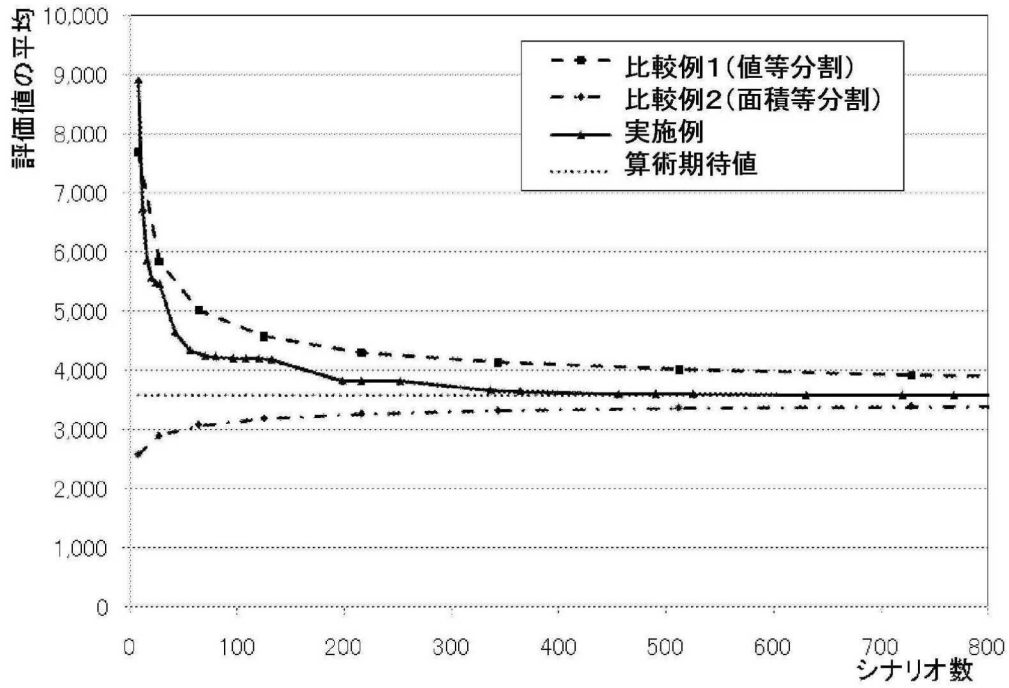




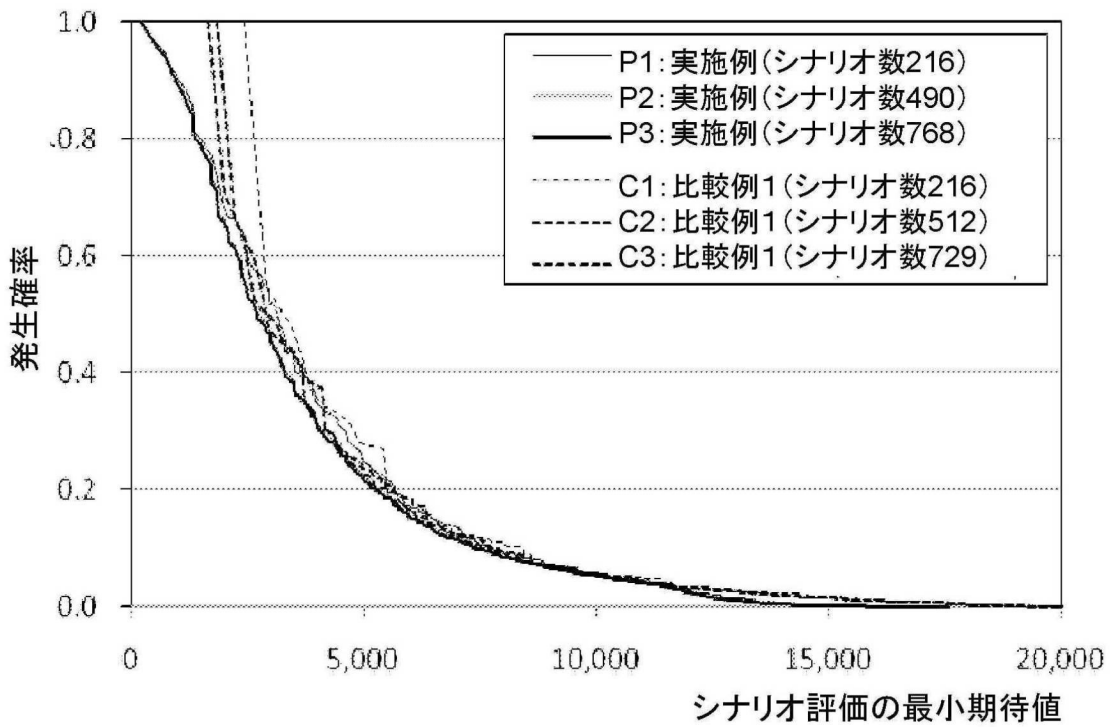
【図 8】



【 図 9 】



【 図 1 0 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 角田 浩平

千葉県流山市南流山5-4-21クレセント南流山105

審査官 青柳 光代

(56)参考文献 特開2004-258816(JP,A)

特開2006-155344(JP,A)

特開2008-102562(JP,A)

特開2006-318290(JP,A)

特開2008-171348(JP,A)

特開2002-288386(JP,A)

元田 浩 他, データマイニングの基礎, 株式会社オーム社, 2006年12月20日, 第1版  
, P21-29、123-129

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06Q 10/00-50/34