人　工　知　能 74－7
（1991．1．17）

対話型概念学習の一手法
－ 中心仮説選択法 －

山口 尚吾　大川 剛直　馬場口 登　手塚 慶一
大阪大学 工学部

筆者らはこれまでに，対話型概念学習の一手法として，中心仮説選択法MHS(Middle Hypothesis Selection)を提案した．MHSは，初期例題を基に，概念記述の候補となる記述をノードに持つ木を構成し，その半分の深さに位置する記述を仮説として選択する学習法である．しかしながら，生成された木の枝分かれが多い場合には，質問回数が増大するという欠点を有していた．そこで，本稿では，MHSを改良し，仮説選択を動的に行うことにより質問回数の軽減を図るMHS IIを提案する．MHS IIは，既存手法に比べ，質問回数が確率的に最少になるという利点を有している．

A Method for Interactive Conceptual Learning
- Middle Hypothesis Selection Method -

Shogo Yamaguchi, Takenao Ohkawa, Noboru Babaguchi and Yoshikazu Tezuka
Faculty of Engineering, Osaka University
2-1 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka, 565 Japan

*We have already proposed MHS(Middle Hypothesis Selection), an interactive conceptual learning method. MHS constructs a tree whose nodes are candidates of goal concept description, and selects a node in the middle of depth of the tree as a hypothesis. However, the number of questions will increase in case that the tree has a lot of branches. In this report, we propose improved version of MHS(MHS*II*), which can learn in less number of questions by dynamically applying two ways to the selection of a hypothesis. Comparing with the existing methods, it is guaranteed, in probabilistical sense, that MHS*II *works in the minimum number of questions.*

1. まえがき

例題からの学習は，機械学習における最も基本的な学習形態であり，様々な学習手法が提案されている[Chohen82][Forsy86].その基本的な考え方は，教師が与える正の例題（目標概念に属する例題），負の例題（目標概念に属さない例題）からそれらに完全かつ無矛盾な概念記述を見つけることに集約される．学習に用いる例題は，学習効率や学習結果の質に多大な影響力を持つが，学習に有効な例題を選択して与えることは教師にとって大きな負担となる．この負担を軽減するため，学習者自らが例題を選択し，それが正の例題，負の例題の何れであるかを教師に質問する対話型の概念学習手法が提案されている[Sammut86].

対話型概念学習において学習効率を決定づける要因は，例題選択のための計算量と学習完了までの質問回数である．つまり，学習効率を向上させるには，少ない質問回数で学習が可能となる良質の例題を，少ない計算量で選択することが必要となる.従来手法には大きく分けて二分法(halving)[Genese87]と保存選択法(conservative selection)[Kraw88][Raedt89]がある．しかし，何れの手法にも学習効率に改善の余地が残されている．

まず，二分法では，最少の質問回数での学習の保証がなされるが，その代償として例題選択のための計算量が膨大なものとなっている．一方，保存選択法は，最初に与えられた例題から一般化により仮説を生成しながら，順次例題を選択していく手法である．この手法では，例題選択のための計算量は低く抑えられるが，生成される仮説が少ない状況では，より少ない質問回数で学習できることが推察される．

我々は，以上のような観点から，より学習効率の向上を目指した中心仮説選択法ＭＨＳ(Middle Hypothesis Selection)を提案した[山口90].ＭＨＳは，初期例題を基に，概念記述の候補となる記述をノードに持つ木を構成し，その半分の深さに位置する記述を仮説として選択する学習法である．しかしながら，本手法は，生成される仮説の数が少ないときには有効であるが，そうでないときには質問回数が増大するという欠点を有している．そこで本稿では，仮説選択を一般化木の形状に応じて動的に適用することにより，質問回数が確率的に最少となる中心仮説選択法ＭＨＳⅡを提案する．

2. 中心仮説選択による概念学習

2.1 諸定義

ＭＨＳによる概念学習手続きを述べる前に，まず，ここで対象とする学習問題を明確にする．次に，記述の一般－特殊関係を定め，それを基に一般化木を定義する．そして，一般化木における中心仮説の定義を行う．

2.1.1 単一概念学習問題

《定義1》（単一連言概念学習問題）

単一連言概念学習問題とは，学習すべき目標概念記述は唯一であり，かつ，その記述は連言のみで表わされるような概念学習問題である． ■

《定義2》（事例集合と記述集合）

ある連言概念に関して，その概念の学習において与えられ得る全ての事例を表現した記述の集合をその概念に関する事例集合といい，目標概念記述の連言要素となり得る記述の集合を記述集合という． ■

ＭＨＳでは，概念記述の学習を連言要素毎に行う．具体例として，「色」と「形」の連言により特徴付けられているブロック世界の概念について学習する場合を考える．このとき，まず一方の連言要素「色」に関して学習を行い，その目標概念の値を求める．その後，もう一方の「形」について学習する．このように，概念記述を連言要素毎に学習することで，学習効率の向上が期待できる．例えば,概念記述の連言要素記述数がm，各連言要素における目標概念の候補記述数がnであるとする.このとき，連言毎に学習する場合，n個の候補

からゴールを見つける学習をm回すればよく，mnのオーダで学習できる．これに対し，連言を一度に学習する場合には，学習回数は１回で良いが，n^m個の候補の中からゴールを見つけなければならず，n^mのオーダの学習となる．したがって，連言を要素毎に学習する方が学習効率の面で有利である．
これと同様に，概念記述を分割して学習する手法にファクタリング法(factoring)[Subra86]がある．ファクタリング法では，連言を独立なものに分け，独立なもの毎に学習する．ここで，独立とは，例えば先に挙げたブロック世界に関する概念において，次の条件を満たすような「色」と「形」の関係を言う．
「目標概念の候補記述集合が色と形各々に関する候補記述集合の直積となっている」
したがって，概念記述を分割するためには独立であるかどうかを調べる必要があり，また，独立であるときにしか分割して学習することができない．
一方，ＭＨＳでは，予め各連言要素毎の記述集合を与えておき，最初から各々で概念記述の連言要素となる候補記述を探索する．したがって，常に連言要素毎の学習が可能である．

2.1.2　一般化木

《定義3》　(記述の一般－特殊関係)
記述Ａ，Ｂについて，{Ａ}，{Ｂ}をそれぞれＡ，Ｂに被覆される事例の集合とする．このとき

{Ａ} ⊃ {Ｂ}

が成り立つならば，記述Ａは記述Ｂより一般的であるという．また，記述Ｂは記述Ａより特殊であるという．■

《定義4》　(一般化規則)
記述Ａが記述Ｂより一般的であるとき，ＢからＡを生成する規則を一般化規則という．■

《定義5》　(一般化木)
記述Ａに対し，一般化規則を適用して得られる記述，ならびに生成された記述に対し再帰的に一般化規則を適用して得られる全ての記述をノードとし，記述間の一般－特殊関係をアークとして表現される記述Ａを根とする木を記述Ａの一般化木という．■

2.1.3 中心仮説

ここでは，2.1.2で定義した一般化木の概念を用い，一般化段階数，及び一般化木の深さを定義し，中心仮説の定義を行う．

《定義6》　(一般化段階数)
ある記述Ａと，記述Ａより一般的な記述Ｂに対して，記述Ａ，Ｂが属する記述集合内の全記述のうち，与えられた一般化規則の下に記述Ａより一般的で記述Ｂより特殊な記述が存在しないとき，記述Ｂを記述Ａの一段階一般化した記述であるという．さらに，記述Ｃが記述Ａをｍ回一段階一般化して得られるとき，ｍを記述Ａと記述Ｃの一般化段階数という．■

また，一段階特殊化，及び特殊化段階数も同様に定義される．

《定義7》　(一般化木の深さ)
ある記述Ａに対する一般化木に関して，各枝において記述Ａから枝の末端に位置する記述までの一般化段階数を，その枝の深さという．また，一般化木の各枝の中で，最も深い枝の深さをその一般化木の深さという．■

《定義8》　(中心仮説)
ある記述Ａに対する一般化木において，その一般化木の深さがｎのとき，記述Ａをｎ／２段階一般化して得られる記述を，その一般化木の中心仮説という．■

2.2 学習アルゴリズム

ここでは，ＭＨＳの学習アルゴリズムについて述べる．ＭＨＳが対象とする概念学習問題は，先に定義した，単一連言概念学習問題である．

単一連言概念学習問題：
入力　・記述集合
　　　・一般化規則
　　　・初期例題
　　　・事例集合
出力　連言概念記述

初期例題が与えられると，学習者は，自らのもつ記述集合から例題を被覆する最も特殊な連言記述を生成する．ＭＨＳでは，以下の学習過程を，生成された連言の各要素に対して行い，各々の学習結果の連言を目標概念記述とする．

各連言要素に対する学習アルゴリズムを説明する．まず，これから学習しようとする連言要素に関して，定義5に基づき一般化木を構成する．

ＭＨＳによる学習の基本的な方針は，一般化木に含まれる全記述が，現学習段階までに正負が既知である例題に対して，完全性，無矛盾性を維持することである．つまり，一般化木は，全ての正の例題を被覆し，負の例題を１つも被覆しない記述のみで，常に構成されていなければならない．構成された一般化木から，定義8に基づき中心仮説を選択する．一般に，中心仮説は１つとは限らず，複数存在することも考えられる．そのような場合には，中心仮説各々について以下のステップを実行する．

まず，仮説には被覆されるが，仮説を一段階特殊化した記述には被覆されない例題を，事例集合から選択する．そして，その例題について，教師に正負の如何を質問する．例題に対する教師の答えが，正である場合には，一般化木を，仮説を根とする，仮説より一般的な記述のみを含む木に再構成する．その理由は，ここで対象としている問題は，単一連言概念学習問題であり，ゴールは一般化木中の唯一の記述であることが保証されているので，仮説より特殊な記述や，仮説と一般－特殊関係の存在しない記述を一般化木に含めると，一般化木の完全性が失われることになるからである．一方，教師の例題に対する答えが負である場合には，一般化木から仮説より一般的な記述を全て消去する．なぜなら，一般化木が仮説より一般的な記述を含むと，無矛盾性が維持できないからである．

こうして，中心仮説全てについて例題選択－質問－一般化木再構成を行うと，必ず一般化木の深さは半分になる．ただし，質問例題が正であった場合には，その時点で一般化木の深さは半分になり，残りの中心仮説は棄却される．もし，再構成された一般化木が唯一の記述を持つなら，それが，現在学習中の連言要素に関する目標概念記述である．そうでない場合には，一般化木の深さを半分にする学習プロセスを繰り返し，記述を１つに収束させる．図1にＭＨＳの学習アルゴリズムの概略を示す．

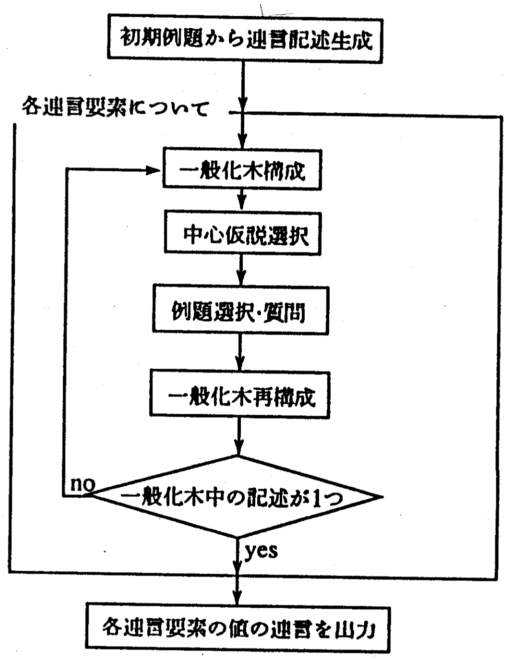

図1 MHS の学習アルゴリズムの概略

2.3 ＭＨＳによる学習例

2.2のアルゴリズムを計算機上にインプリメントし，有機化合物の分類における学習に適用した例を示す．

ここでは，図2に示す階層が背景知識として与えられており，この領域で階層上昇の一般化規則を用いる．事例集合Ｉ＝｛カテコール，レゾルシノール，ヒドロキノン，フェノール，サリチル酸，安息香酸，…｝である．目標概念「他の物質と反応してエステルを作るもの」に対し，最初に教師がその正の例題として「カテコール」を与えた場合の学習過程を図3に示す．

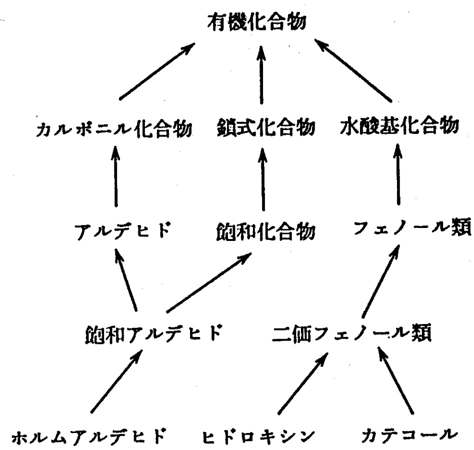

図2 有機化合物の階層関係の一部

システム：Positive example of new concept?
教 師 ：(x (カテコール))
システム：(ベンズアルデヒド) is positive?
教 師 ：no
システム：(メチルアルコール) is positive?
教 師 ：yes
システム：(n-ブタン) is positive?
教 師 ：no
システム：(x (有機分類　水酸基化合物))

図3 学習過程

システムからの最後の出力記述(x (有機分類　水酸基化合物))が収束して得られた学習結果であり，目標概念の概念記述である．つまり，「水酸基化合物」が「他の物質と反応してエステルをつくるもの」を表す記述として得られたことになる．

2.4 従来手法とＭＨＳの学習効率の検討

2.4.1 質問回数に関する検討

ここでは，学習が終了するまでに必要とされる質問回数の観点から学習効率を検討する．ＭＨＳの学習効率は，構成される一般化木の形態に影響されると考えられる．そこで最初に，一般化木の分岐数の観点から両極端なケースとして，一般化木が直線構造を成す場合と，完全二分木を成す場合について考察する．

まず，直線構造を成す深さdの一般化木における質問回数について，二分法，保存選択法，ＭＨＳの各々について比較する．ここで，一般化木内の全記述は目標概念の記述となる可能性を等しく持つものとする．直線構造を成す深さdの一般化木内の記述数はd+1であり，二分法では，一回の質問で記述数が半分になるため，質問回数は0(log d)となる．保存選択法では，深さkにある記述が概念記述のときの質問回数は(k+1)回であるので，平均質問回数は0(d)となる．

一方，ＭＨＳでは，一回の質問で一般化木の深さが半分になり，木が直線構造である場合，仮説は唯一に決定されるため質問回数は0(log d)となる．以上の結果を表1に示す．これより，一般化木が分岐のない直線構造の場合，ＭＨＳの質問回数は，最少が保証されている二分法と同等である．なお，一般化木が分岐のない直線構造となるのは，各記述に適用できる一般化規則が唯一の場合である．例えば，階層上昇規則を適用する場合，背景知識として与えられた階層が木構造のときに一般化木は直線構造となる．

次に，分岐が数多く存在する典型例として，一般化木が完全二分木である場合について同様に検

討する．深さdの二分木の全記述数は$(2^{d+1}-1)$であるため，二分法による質問回数は$O(\log(2^{d+1}-1))=O(d)$となる．保存選択法では，最高２回質問することにより，必ず階層を上昇することができるため，質問回数は最悪の場合で(2d)回であり，平均質問回数は$O(d)$となる．次に，ＭＨＳの質問回数を考察する．中心仮説は深さd/2で選択される．ここで，目標記述がd/2より浅い階層に存在する確率$p_S=(2^{d/2}-1)/(2^{d+1}-1)$であり，このとき，深さd/2にある全ての記述に対する質問が要求されるため，質問回数$t_S=2^{d/2}$となる．一方，目標記述がd/2より深い階層に存在する確率$p_D=(1-(2^{d/2}-1)/(2^{d+1}-1))$であり，このとき，質問回数$t_D=2^{d/2}/2$となる．以上から，一般化木の深さを半分にするまでの平均質問回数Qは次のようになる．

$$Q=p_S t_S+p_D t_D$$
$$=\frac{2^d-2^{d/2}+2^{3d/2}-2^{d-1}}{2^{d+1}-1}$$

従って，学習完了までの質問回数は$O(2^{d/2})$となる．以上の結果をまとめて表1に示す．保存選択法，二分法がdのオーダであるのに対し，ＭＨＳは$2^{d/2}$のオーダであり，一般化木の深さが深くなるほどＭＨＳの質問回数は指数関数的に増える．

2.4.2 例題選択のための計算量に関する考察

ここでは，システムが質問のために例題を選択する際に要求される計算量に対する検討を，従来手法，ＭＨＳに関して行う．

生成された記述集合の要素数がmであり，与えられた事例集合の要素数がnである状況における学習について考える．保存選択法，ＭＨＳにおいては，仮説，ならびに仮説を一段階特殊化した記述と，事例集合の全要素との被覆関係に基づき，例題を選択するため，その計算量は$O(n)$となる．従って，学習完了までにはこれが質問回数分繰り返される．一般化木が深さdの直線構造，完全二分のときの学習完了までに必要な計算量を表2に示す．一方，二分法は，記述空間内の全記述との被覆関係を調べて例題を選択するので計算量は$O(mn)$となる．二分法では，最初の例題選択の時に全記述と全例題の被覆関係を調べるので，２回目以降には，被覆関係を調べる必要はない．したがって，質問回数には関係なく，一般化木の形状が直線構造のときと完全二分のときの全計算量は表2のようになる．

表2から，一般化木が直線構造のときはＭＨＳが，完全二分のときは保存選択法が有効であることが分かる．

表1 質問回数

一般化木の形	MHS	保存選択法	二分法
深さdの直線	$O(\log d)$	$O(d)$	$O(\log d)$
深さdの二分木	$O(2^{d/2})$	$O(d)$	$O(d)$

表2 例題選択のための全計算量

一般化木の形	MHS	保存選択法	二分法
深さdの直線	$O(\log d)$	$O(n\ d)$	$O(n\ d)$
深さdの二分木	$O(n\ 2^{d/2})$	$O(n\ d)$	$O(n\ 2^{d})$

3. 仮説選択の動的適用

ＭＨＳは，一般化木の枝分かれが多くなるに従い，質問回数が増大する．一般化木の枝分かれの増加は，中心仮説の増加を導き，その結果，木の深さを半分にするのに要する質問回数も増大するからである．そこで，一般化木の枝分かれの多い場合には，保存選択法的な仮説選択に注目し，これをＭＨＳに導入したＭＨＳⅡについて述べる．その導入理由は，保存選択法が，一般化木の枝分かれが多い場合でも，比較的質問回数を抑えることができるからである．例えば，一般化木が完全二分木の場合には，１回の質問で，目標概念記述の候補を半分にすることができ，最少の質問回数で学習できる．ＭＨＳⅡでは，一般化木の枝分かれが比較的少ないときには中心仮説選択が，そうでないときには保存選択法的な仮説選択が利用される．まず，保存的仮説を定義する．

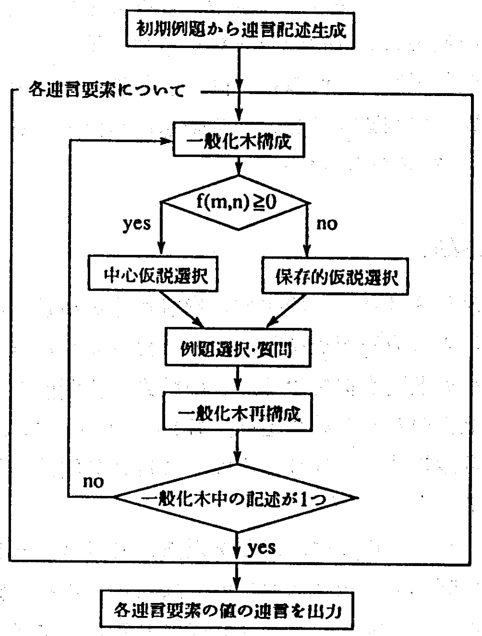

図4 MHS Ⅱ の学習アルゴリズムの概略

《定義9》（保存的仮説）

ある記述Ａに対する一般化木において，記述Ａを一段階一般化して得られる記述を，その一般化木の保存的仮説という．

ＭＨＳⅡとＭＨＳの学習アルゴリズムの差異は，仮説選択ステップのみである．他の質問－一般化木再構成はＭＨＳと同じであり，一般化木は，正負が既知の例題に対して，常に完全性，無矛盾性を維持する．図4にＭＨＳⅡの学習アルゴリズムの概略を示す．

ＭＨＳⅡでは，一般化木の形状に応じて中心仮説選択と保存的仮説選択を動的に使い分ける．したがって，その使い分けの基準が重要となる．ここでは，次のような仮説選択適用基準関数$f(m,n)$を用いる．

$$f(m,n)=\begin{cases} C(m,n)-(C(m,n/2)+M(m,n)) & : m\neq 1 \\ 1 & : m=1 \end{cases} \quad \cdots (1)$$

$$M(m,n)=\frac{1}{2}\left(\frac{2m-m^2-1}{1-m^{2+2/n}}+m+1\right) \quad \cdots (2)$$

$$C(m,n)=\frac{n^{2/n}}{2(1-m^{2+2/n})}\left[\frac{(1-m^2)(3-m^{2/n})}{1-m^{2/n}}-m^2 n\,(1+m^{2/n})\right] \quad \cdots (3)$$

m : 中心仮説の数
n : 一般化木の深さ

(2)式の$M(m,n)$は深さn, 中心仮説数mの一般化木に中心仮説選択の適用により学習したときに，一般化木の深さを$n/2$にするのに必要な平均質問回数である．また，(3)式で与えられる$C(m,n)$は，深さn，中心仮説数mの一般化木で保存的仮説選択のみを用いて学習した場合，学習完了までに必要な平均質問回数である．したがって，$f(m,n)$の値は，保存的仮説選択のみを用いて学習したときの質問回数と，最初中心仮説選択で一般化木の深さを１／２にし，その後，保存的仮説選択のみを用いて学習したときの質問回数を比較したとき，後者の方が少ないときに正となる．つまり，$f(m,n)$の値が正であるような一般化木に対しては，次の仮説選択として中心仮説選択の利用が確率的に有効であると考えられる．従って，ＭＨＳⅡでは，学習途上における一般化木に関して，$f(m,n)$の値が0

以上のときには中心仮説選択を行い，一般化木の深さを半分にする．そうでないときには保存的仮説選択を行う．そして，再構成された一般化木に対して，同じことを繰り返し行い，目標概念記述を求める．

それではここで，M(m,n)を導出する基本的な考え方を簡単に説明する．まず，目標概念記述が中心仮説より浅い階層にある場合，中心仮説全てについて質問することになるので，質問回数はmである．またその確率p＝(中心仮説より浅い階層にある記述数/一般化木中の全記述数)となる．ここで，平均枝分かれ数を$m^{2/n}$と考えると，一般化木中の全記述数は$(1-m^{2+2/n})/(1-m^{2/n})$，中心仮説より浅い階層にある記述の数は$(1-m)/(1-m^{2/n})$となる．一方，目標概念記述が中心仮説より深い階層にある場合の質問回数は最少1回，最多m回であり，平均で(m+1)/2である．また，その確率は(1-p)である．以上から，M(m,n)は(mp+((m+1)/2)・(1-p))となり，(2)式が得られる．

次に，C(m,n)を求める基本的な考え方を簡単に説明する．保存的仮説選択のみを用いた場合，階層を1段階進むのに必要な質問回数は最少1回，最多$m^{2/n}$回であり，その平均は$(1+m^{2/n})/2$である．従って，深さdの階層にある記述が目標概念であるとき，その記述の階層まで到達するのに必要な質問回数は$d\cdot(1+m^{2/n})/2$となる．なお，その後，記述が目標概念であることが決定されるためには，さらに$m^{2/n}$回の質問が必要であり，結局，学習完了までに必要な全質問回数は$d\cdot(1+m^{2/n})/2+m^{2/n}$となる．以上の考えのもとに，表3に中心仮説数m，深さnの一般化木において，目標概念の存在する階層とそのときに保存的仮説選択のみを用いた学習に必要な平均質問回数の関係を示す．

目標概念が深さkの階層にある確率pkは，（k階層にある記述の数／一般化木中の全記述数）である．従って，保存的仮説選択のみを用いた場合，中心仮説数m，深さnの一般化木で学習完了までに必要な平均質問回数は，pk・（1階層にあるときに必要な平均質問回数）の全階層にわたる合計であり，(3)式が得られる．

表3 階層と質問回数の関係

ゴール存在階層の深さ	平均質問回数	ノード数
0	$m^{2/n}$	1
1	$m^{2/n} + \frac{m^{2/n}+1}{2}$	$m^{2/n}$
2	$m^{2/n} + 2 \cdot \frac{m^{2/n}+1}{2}$	$(m^{2/n})^2$
⋮	⋮	⋮
n-1	$m^{2/n} + (n-1) \cdot \frac{m^{2/n}+1}{2}$	$(m^{2/n})^{n-1}$
n	$n \cdot \frac{m^{2/n}+1}{2}$	$(m^{2/n})^n$

表4 MHS II の学習効率

一般化木の形	質問回数	例題選択のための全計算量
深さdの直線	O(log d)	O(n log d)
深さdの二分木	O(d)	O(n d)

4．検討

ＭＨＳⅡは，一般化木の形状が直線構造の時は常に中心仮説選択をし，完全二分木の時には常に保存的仮説選択をする．この結果，質問回数と例題選択のための計算量は，表4に示すようになり，保存選択法，ＭＨＳと比較して良好な結果が得られる．

さらにここでは，保存選択法，ＭＨＳ，ＭＨＳⅡに関して，様々な形状の一般化木における質問回数を，シミュレーションにより求め，ＭＨＳⅡと他手法との比較により，仮説選択適用基準関数の妥当性を検討する．一般化木は，標準偏差が０．５の正規乱数により各ノードからの枝分かれの数を決定し，生成したものである．まず，質問

回数の枝分かれ数に関する特性を調べた．実験で生成され，質問回数の計測に用いられた一般化木の形状を表5に示す．深さはすべて１２である．質問回数は，一般化木中のノードから無作為に２５個の目標概念を決定し，各目標概念に対する質問回数を平均したものである．実験結果を図5に示す．

保存選択法とＭＨＳの質問回数の一般化木の枝分かれに対する特性は予想通りの結果が得られている．保存選択法の質問回数は，枝分かれ数にほぼ比例して増加しており，ＭＨＳの質問回数は枝分かれ数の増加にともない指数関数的に増加している．一方，ＭＨＳⅡは他の２手法より常に少ない質問回数で学習が可能となっている．したがって，ＭＨＳⅡで用いている仮説選択適用基準関数の妥当性が実験的に検証されたといえる．

次に，一般化木の深さに対する質問回数の特性を調べた．実験で生成された一般化木の形状を表6に示す．平均分岐数は全て１．２である．質問回数の求め方は上と同様である．実験結果を図6に示す．

グラフから，ＭＨＳとＭＨＳⅡは保存選択法に比べ，一般化木の形状が，比較的枝分かれが少ない場合，深さがより深くなる程有効であることが分かる．また，ＭＨＳⅡの仮説選択適用基準関数は，一般化木の深さに関係なく有効な仮説選択を行うことが実験的に検証されている．

表5 分岐数特性実験で生成された一般化木

平均分岐数	n分岐ノード数 n:0	1	2	3	全ノード数
1.0	0	12	0	0	13
1.2	0	17	1	0	20
1.4	0	40	24	0	89
1.6	0	329	660	1	1653
1.8	0	322	2476	4	5287
2.0	0	88	3640	76	7597

表6 深さ特性実験で生成された一般化木

深さ	n分岐ノード数 n:0	1	2	3	全ノード数
10	0	10	0	0	11
20	1	19	0	0	20
30	0	61	6	0	74
40	1	197	20	0	238
50	2	828	101	0	1031
60	9	2080	272	0	2625

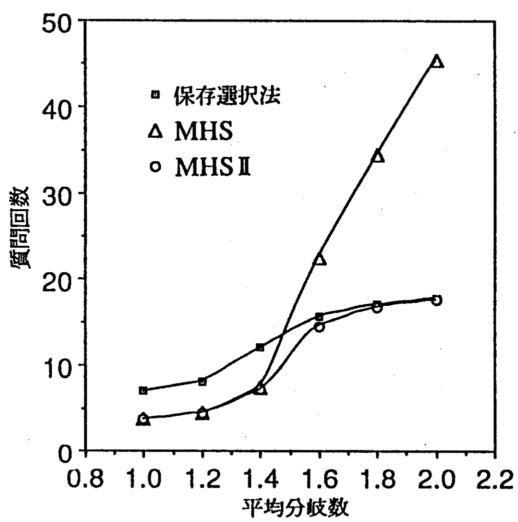

図５ 一般化木の分岐数と質問回数

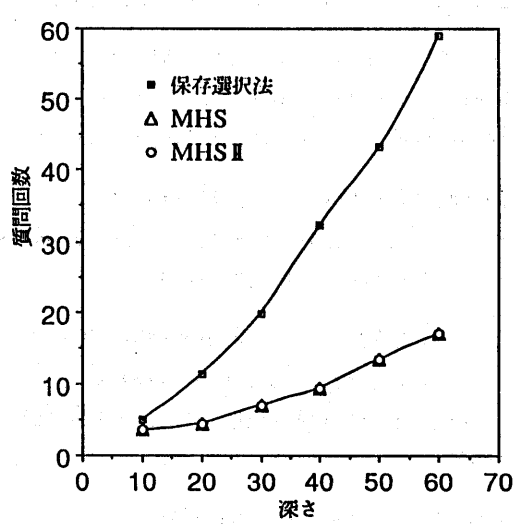

図６ 一般化木の深さと質問回数

5. むすび

本稿では，ＭＨＳの学習効率の改善について述べた．まず，ＭＨＳについて詳しく述べ，その特徴を明確にした．本手法は，一般化木の枝分かれが非常に多いとき，学習効率の低下がみられる．そこで，中心仮説選択とは異なる仮説選択を導入し，２つの仮説選択をうまく使い分けることで効率の改善を図ったＭＨＳⅡを提案した．各手法の学習効率を実験的に検討した．ＭＨＳⅡは，従来手法より質問回数の面で常に良い結果が得られた．これにより，ＭＨＳⅡで用いている仮説選択適用基準関数f(m,n)が妥当なものであることが確かめられた．今後の課題としては，学習可能記述を連言のみではなく選言をも含むよう拡張することが考えられる．

《参考文献》

[Cohen82] Cohen, P.R. and Feigenbaum, E.A.: "The Hand-book of Artificial Intelligence Vol.3", William Kaufmann (1982).

[Forsy86] Forsyth, R., Rada, R.: "Machine Learning", Ellis Horwood Limited (1986).

[Genese87] Genesereth, M.R., Nilsson, N.J.: "Logical Foundations of Artificial Intelligence", Morgan Kaufmann (1987).

[Kraw88] Krawchuk, B.J., Witten, I.H.: "On Asking The Right Questions", Proceedings of the 5th MLC, pp15-22 (1988).

[Raedt89] Raedt, L.D., Bruynooghe, M.: "Towards Friendly Concept-Learners", Proceedings of the 11th IJCAI, pp849-853 (1989).

[Sammut86] Sammut, C., Banerji, R.B.: "Learning Concepts By Asking Questions" Machine learning Vol.II, Morgan Kaufmann (1986).

[Subra86] Subramanian, D., Feigenbaum, J.: "Factorization in Experiment Generation", Morgan Kaufmann (1986).

[山口90] 山口 尚吾，大川 剛直，馬場口 登，手塚 慶一："中心仮説選択法による対話型概念学習"，情報処理学会第４１回全国大会5L-6(1990).