

前方後円墳時期推定システム RAPS†

小 沢 一 雅††

前方後円墳の築造時期推定のための考古学エキスパートシステム RAPS の構築とその実験的検討を述べる。RAPS は、(1)異なった視点からの個別推定を集約するという2層構造の推論機構、および(2)推定結果の評価にもとづく教師つき学習機構を備えており、考古学者の時期推定過程のモデルでもある。一方、学習実験を通じて、人為的に埋め込まれた偽の推定ルールの貢献度がしだいに改善の方向へ変化してゆくなどの学習効果が確認された。

1. ま え が き

エキスパートシステムが盛んに構築されつつある¹¹⁻¹⁴⁾。実際、経験が決定的な役割をはたす専門分野のなかには、経験的に蓄積された知識の集合が専門性と不可分の関係にあることが少なくない。さらに、それらの知識(実体としては漠然としたものである場合が多い)を適切な単位としてのルールに定形的に記述する条件が整えば、エキスパートシステムの実現性は高まってゆく¹⁵⁾。一方、エキスパートシステムに人間の知的行動における優れた柔軟性をできる限り取り入れる努力は、実用的見地からしてもきわめて重要である。柔軟性の最たるものとして学習の機能^{11, 6), 16)-19)}がある。一つの推論に対して、事実との照合がなされると推論の妥当性が検証される。推論が誤っていれば、それが経験として蓄積され、再び同じ誤りをくり返すことはない。照合が反復されるにしたがって推論の精度はしだいに高まってゆく。周知のとおり、エキスパートシステムにこのような柔軟な学習機能を付与することによって実用的に見てもさまざまな利点が生じてくることは明らかである。

本稿で述べる前方後円墳時期推定システム RAPS (Rule-based Archaeological Periodization System for Japanese Ancient Tombs) では、時期推定結果の適否を教師(考古学者)が判断し、改善の指示を与えると推定結果に影響を及ぼしたルールの履歴をたどりそれらのルールのウェイト(貢献度)を自動的に修正するという単純パーセプトロン^{16), 17)}型の学習機構を備えている。

RAPS は考古学における年代推定のためのエキスパートシステムであるが、さらに広い視野でながめる

† RAPS: A Rule-based Archaeological Periodization System for Japanese Ancient Tombs by KAZUMASA OZAWA (Information Science Center, Osaka Electro-Communication University).

†† 大阪電気通信大学情報科学センター

と考古学への情報工学の応用の一環にはかならない。考古学は古代情報の収集・蓄積・処理に基礎を置く科学であるが、近年、情報量の爆発的増大に伴い情報工学的技術の導入の必要性が緊急の課題となりつつある^{20), 21)}。このような背景下で、筆者は情報収集の主役である発掘調査を支援するための地下遺構のコンピュータ映像化技法²²⁾、情報蓄積に関しては、研究支援型リレーショナル・データベース REDATO の構築^{20), 23)}、情報処理に関してはパターン認識・クラスタリング技法^{24), 25)}や統計処理の導入による種々のデータ分析を行ってきた。このような流れのなかで、RAPS は日本考古学への知識工学の最初の応用例と位置づけることができる。

RAPS は Franz LISP で書かれた全体で約 150 kB 程度のサイズのシステムであって、現在、大阪電気通信大学情報科学センターの VAX 11/750 [UNIX-4.1 bsd] 上で稼動中である。

2. 時期推定問題

考古学において、発掘された遺物・遺構の年代推定(dating)は研究の出発点としてつねに根幹をなす重要な作業である。実際に行われている年代推定は図1に示されるようにいくつかのタイプに分類することができる²⁶⁾。絶対年代推定(absolute dating)は文字どおり、絶対年代を推定する作業であって、C¹⁴、熱ルミネッセンス、フィッシュトラックなどの物理計測的手法が主流である(歴史時代の遺物・遺構については、史的文献情報による絶対年代推定も可能)。一方の相対年代推定(relative dating)についてはさらに種々のタイプに細分されるが、おもなものとして、順推定(sereation)および時期推定(periodization)が挙げられよう。順推定とは与えられた遺物・遺構群を古いものから新しいものへと順位づけをする作業であり、時期推定とは遺物・遺構を特定の時期区分(幅の

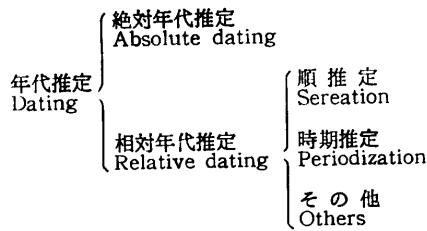


図1 考古学的年代推定
Fig. 1 Archaeological dating methods.

表1 時期区分
Table 1 Ancient tomb periods.

7 時期区分	3 時期区分
前・I 期 (4C前半)	前期 (4C)
前・II 期 (4C後半)	
前・III 期 (5C前半)	
前・IV 期 (5C後半)	
後・I 期 (6C前半)	中期 (4C末~5C末)
後・II 期 (6C後半~7C初頭)	
後・III 期 (7C中葉前後~後半)	
	後期 (6C~7C前半)

ある時間間隔) に編入する作業である。

物理計測的手法に基づく絶対年代推定とは対照的に、相対年代推定では考古学者の経験的知識が決定的な役割を演じている。一つの遺物を前にして考古学者は年代推定に必要と見られるいくつかの視点から遺物を観察しきめてになる特徴をつかんでゆく。観察された特徴と経験則(必ずしも定形化されていない判定基準)とが連動して個々に年代推定に関する一定の結論が導かれる。なかには互いに矛盾する結論も含まれているが考古学者はこれらすべてを総合的に判断して最終的な結論を集約する。考古学における相対年代推定はすべて複数の視点から独立に導かれた推論を集約するという形式の基本構造において共通性がある。

前方後円墳の時期推定問題もしかりである。古墳時代は表1に示されるように4世紀から7世紀にわたる約400年間であるが、この区間はさらにいくつかの「時期」へと細分されている。とくに、前方後円墳に限定して考えれば、4世紀から6世紀にかけての約200年間を前期・中期・後期という三つに区分する時期設定が基本である(考古学者によっては、各時期をさらに細分した表現を用いて時期推定を行うことも多い)。本稿では、与えられた前方後円墳の築造時期が前期・中期・後期という基本的な三つの時期のうちどれに該当するかを、それぞれの可能性($\epsilon[0, 1]$)によって示す時期推定様式を考える。

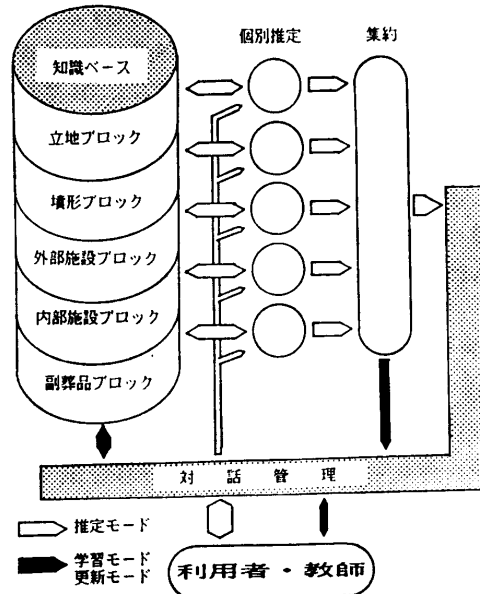


図2 RAPS における情報の流れ
Fig. 2 Information flows of RAPS.

3. RAPS の構築

3.1 設計の基本思想

RAPS 設計の基本思想は、2章で述べた考古学者の時期推定のあり方(考古学的方法とよぶ)をできる限り参考にし、実用性が高いシステムを追求するという点にある。RAPS のシステム化にあたって、まず考古学的方法で用いられる経験則の定形化は、次のようなプロダクション・ルール様式にしたがって具体化された。

$$\text{if } F \text{ then } Q \text{ with } p \quad (1)$$

ただし、前提部 F は前方後円墳のある特徴の存在を意味し、 Q は推定時期および p は時期 Q に対する可能性係数である。(1)のように定形化された経験則を推定ルールとよぶことにする。

RAPS は、図2に示すようにまず、推定ルールの集合からなる知識ベースを互いに独立な五つのブロック(立地・墳形・外部施設・内部施設・副葬品)に分割し、各ブロックから個別的に導かれる時期推定結果(可能性の集り)を最終的に代数和²⁷⁾によって集約するという2層構造をなしている。

考古学者が用いる経験則の全体は、つねに一定不変なわけではなく、考古学者は日常的に経験則の更新を続けていると考えられる。

RAPS では、推定ルールの有効性・重要性を評価するため、知識ベース中の各推定ルールに貢献度

$w (\in [0, 1])$ を付与し, w を学習的に調整することをめざす。次に示すのは, RAPS の知識ベースを構成する推定ルールの貢献度を含めた基本形 (S-表現) である。

$$(N((F) ((Q \cdot p))) \cdot w) \quad (2)$$

N は, 推定ルール番号である。

3.2 機能と利用

RAPS の利用は三つのモードを適宜選択して行われる。すなわち, 推定モード (dating mode), 学習モード (training mode) および更新モード (update mode) である。RAPS を起動するとまず上記の各モードの選択をうながす基本モード (mode selection) に入る。基本モードを含めたモード遷移を図 3 に示す。

推定モードでは, システム側からの逐次的な質問に対して特徴の存在を確信度 ($\in [0, 1]$) を付けて答える形式で時期推定を進める対話型推定とあらかじめファイルに格納されている古墳の特徴集合の一括読み込みによる非対話型推定の二者が可能である。後者は, 時期推定に要する時間が大幅に少なくて済むので主として学習モードにおいてシステムを訓練 (training) する際に用いられる。推定モードによる時期推定の出力の一例を図 4 に示す。

更新モードでは, 表 2 に示すように推定ルールの変更を含む知識ベース管理のためのコマンド群が用意されている。

学習モードにおけるシステムの訓練は次の手順で行われる。まず, ①築造時期が既知である古墳について推定モードで時期推定を行い, ②その結果を教師 (考古学者) が評価する。評価の内容はたとえば“前期の可能性は高すぎる (あるいは低すぎる・適当である)”といったものである。次に, ③学習モードに切り換え, 教師はこの評価にしたがう改善の指示をシステムに与える。たとえば“前期の可能性を低くせよ (あるいは高くせよ)”といった内容である。指示にしたがってシステムは自動的に結果に影響を及ぼした推定ルールの貢献度を微調整する。

築造時期が既知であるいくつかの前方後円墳 (既知古墳サンプル) を用いてこのような教師つき学習過程を反復し, 知識ベース中の推定ルールの貢献度を全体として適正なレベルに収束的に調整しようというのが

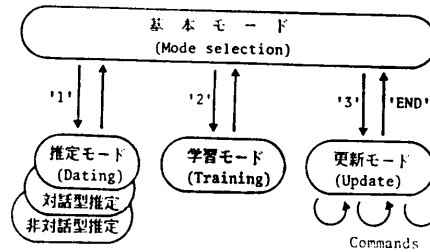


図 3 モード遷移
Fig. 3 Mode transition.

表 2 更新モードにおけるコマンド
Table 2 Commands of the update mode.

コマンド	機能
APPEND	推定ルールの追加
DELETE	推定ルールの削除
REWRITE	推定ルールの書換え
INITIALIZE	知識ベースの初期化
LISTOUT	知識ベースの出力
LISTINT	知識ベースの初期値出力
END	基本モードへの復帰

```

*      5. MARI
*      6. DORE DEMO NAI
*      7. WAKARANAI
*
*      ( GAITOU SURU BANGOU TO
*        SHINRAIDO DE KOTAEYO ! )
*      EX : ((1 0.6)(2 0.3))
*
*****
DATING>((1 1.0))
    
```

```

***** DATING MODE *****
*
*      DATING WITH POSSIBILITIES :
*
*      /77/ - EARLY
*
*      /39/ - MIDDLE
*
*      /26/ - LATE
*
*****
    
```

[ANSWERING RATE = 82%]

Wed Dec 7 15:58:03 1983

図 4 時期推定出力の例

Fig. 4 A dating result for an early tomb.

RAPS の発想である。図 5 に学習モードにおける実行例を示している。

3.3 可能性の演算

既存のエキスパートシステムで用いられている演算方式 (たとえば文献 2) を参考にしながら RAPS における可能性に関する演算を以下のように定めた。

演算の対象となる量は, 利用者が特徴の存在に対して付与する確信度 a , 各推定ルールの可能性係数 p お

```

!!!!!!!!!!!!!! MODE SELECTION !!!!!!!!!!!!!!!
:
:   1. DATING MODE
:   2. TRAINING MODE
:   3. UPDATE MODE
:
: TYPE THE NUMBER IN
: PARENTHESES ; (1),(2),(3).
:
!!!!!!!!!!!!!!

(2)

XXXXXXXXXXXXX TRAINING MODE XXXXXXXXXXXXXXXX
%
%   SPECIFY THE POSSIBILITY
%   TO BE CHANGED :
%
%   1. EARLY
%   2. MIDDLE
%   3. LATE
%
% TYPE THE NUMBER IN
% PARENTHESES ; (1),(2),(3).
%
XXXXXXXXXXXXX

TRAINING>(1)

XXXXXXXXXXXXX TRAINING MODE XXXXXXXXXXXXXXXX
%
%   THE POSSIBILITY SHOULD
%
%   1. INCREASE
%   2. DECREASE
%
%   TYPE THE NUMBER IN
%   PARENTHESES ; (1) OR (2).
%
XXXXXXXXXXXXX

TRAINING>(1)

### RULES TRAINED ###

(P105 ((P103) ((befP1c . 0.5))) . 0.55)
(P201 ((fM01 fM04 fM07) ((beffom . 0.8))) . 0.55)
(P312 ((os06) ((befout . 1.0))) . 0.55)
(P401 ((in01 in26) ((befins . 0.6))) . 0.55)
(P510 ((s005) ((befarv . 0.7))) . 0.55)

>> TRAINING COMPLETED
    
```

図5 学習モードにおける訓練の例
Fig. 5 An example of training process with a teacher.

よび貢献度 w である。一つのブロック内では、いわゆる AND/OR 木^{27,28)}によって表現される演算が行われる。図6に示されるように、推定ルールの条件部に対しては AND ノード、推定ルール相互に対しては OR ノードでの演算が対応する。

図6はある一つの時期の可能性をブロック内で集約するプロセスを簡単化した模式図である。二つの特徴の存在に対する確信度 a, a' について推定ルール A が導く当該時期に対する可能性 p_A^* は、AND ノードを経て次のように与えられる。

$$p_A^* = w_A \cdot p_A \cdot \text{Min} \{a, a'\} \quad (3)$$

ただし、 p_A と w_A はそれぞれ推定ルール A に付与されている可能性係数と貢献度である。各ブロック内では、前期・中期・後期の三つの時期のそれぞれについ

て発火した推定ルールが導く可能性のうちの最大値を選択 (OR ノード) してそのブロックの代表値とする。

全ブロックから個別的に導かれる五つの代表値(可能性)を代数和²⁷⁾(BOR と書く)によって集約する。よく知られているように、任意の二つの可能性 p, p' の代数和 BOR (p, p') は、 $p+p'-p \cdot p'$ で与えられ、五つの代表値の代数和は、順序に依存することなく BOR 演算の反復によって得られる。

3.4 学習機構

RAPS による時期推定では、図4のように三つの時期についてそれぞれの可能性が提示される。学習モードにおけるシステムの訓練の手順はすでに述べた。教師によって増減を指定された時期の可能性は、すでに述べたように五つのブロックから独立に導かれた代表値を BOR 演算によって集約したものである。各ブロックでは、発火した推定ルールが存在する限り、OR ノードを経て代表値を決定づける推定ルール(実効ルールとよぶ)が存在する。RAPS では、実効ルールの貢献度を指示にしたがって自動的に微増減する。

貢献度は最初のすべての推定ルールについて初期値 0.5 が与えられているが、1回の訓練における実効ルールの貢献度の単位補正幅は増減方向ともに 0.05 である。学習過程の進行によって貢献度が区間 [0, 1]

を越えるような事態が起これば、その推定ルールに対する貢献度補正を強制的に停止する。

単純パーセプトロンにおける教師つき学習方式^{16),17)}に類似した手続きで進めてゆく RAPS の学習過程が有限回の訓練で収束するかどうかについて理論的な保障はない。理論的な取扱いの代替として既知古墳サンプルを用いた学習実験によって RAPS の学習機能を調べる。

3.5 推定ルールの収集

前方後円墳の時期推定にどのような視点が必要か、推定ルールとしてどのようなものを用意すればよいかなどについてあらかじめ系統的な調査が必要である。しかし、求める情報が一括・集中的に記述されている資料は存在せず、さまざまな文献における記述の中に

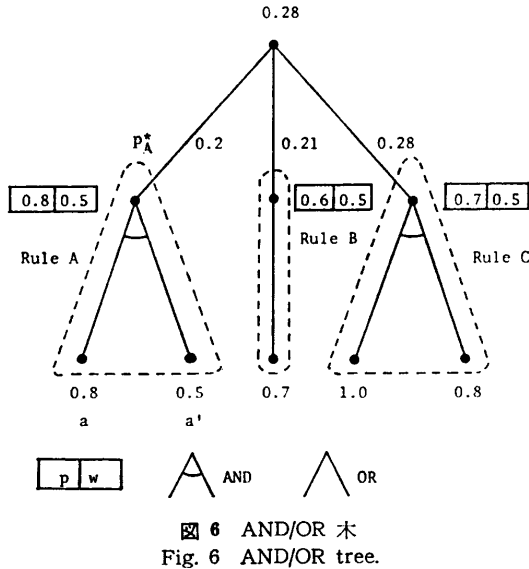


図 6 AND/OR 木
Fig. 6 AND/OR tree.

..... もっともさかんにおこなわれた I 期の埋葬設備は 竪穴式石室である。墳丘上の土壌のなかに礫や粘土で床をつくり、その上に長さ 6.7 m の木棺をすえ、その木棺をつつむように周囲を石積みでかこみ、数枚以上の蓋石を架したものが普通の竪穴式石室であった。とくに I 期の竪穴式石室は、木棺の規模によって幅・高さとも 1 m 前後、長さ 6.7 m に達し、板石を小口積みにしたばあいが多かった。そして、蓋石の上を、さらに粘土で被覆した入念なつくりがみとめられている。.....

(a) 考古学文献における記述例

if 竪穴式石室 then 前期 with 0.6

(b) 推定ルールへの定形化

図 7 考古学的文献から推定ルールへ

Fig. 7 Transformation of archaeological expert rules to if-then rules.

薄く広く分散しているのが実情である。RAPS の構築にあたり、適切な推定ルールの確保は最も重要な要件であり、事実、その収集にはかなりの人年を要した。文献を丹念に調べ、前方後円墳の時期推定に関連する記述を見つけなければそれを (1) の形式に書き下す作業を通して、考古学者の文章表現は実に多様なことを痛感し定形化の困難には随所で遭遇した (図 7 参照)。

現在、RAPS の知識ベースを構成する推定ルールは 126 個である。

4. 学習実験

4.1 方 法

学習実験では、まず、築造時期が確定していることおよび必要な特徴群が比較的多く判明していることを条件として前期・中期・後期についてそれぞれ 3 基ず

表 3 既知古墳サンプル

Table 3 Nine tombs used for the experimental training.

略号	古墳名	時期	所在
E ₁	桜井茶臼山古墳	前期	奈良
E ₂	和泉黄金塚古墳	前期	大阪
E ₃	崇神天皇陵古墳	前期	奈良
M ₁	久津川車塚古墳	中期	京都
M ₂	津堂城山古墳	中期	大阪
M ₃	仁徳天皇陵古墳	中期	大阪
L ₁	二塚古墳	後期	奈良
L ₂	見瀬丸山古墳	後期	奈良
L ₃	東乗鞍山古墳	後期	奈良

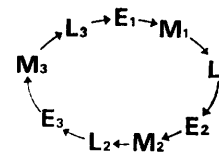


図 8 訓練の 1 ラウンド
Fig. 8 A round of training.

つ計 9 基を前方後円墳データベース REDATO²³⁾ から選び出し、既知古墳サンプルとした (表 3 参照)。以下簡単のためそれぞれ E₁, E₂, E₃ (前期), M₁, M₂, M₃ (中期), L₁, L₂, L₃ (後期) と書くことにする。既知古墳サンプルは、知識ベースの初期状態 (推定ルールの貢献度がすべて一律に 0.5) における時期推定においてすでに可能性最大の意味ではすべて正しい時期推定がなされている。しかしながら、三つの時期に対する可能性の分布の適否を含め時期推定の妥当性を適正かつ客観的に評価するためにはかなりの年月が必要と思われる。本稿では、純技術的な観点からシステムの学習機能を点検する目的で次の方針にしたがって実施された学習実験について述べる。

【方針 1】 すべての既知古墳サンプルについてつねに該当期の可能性の増大と他の時期の可能性の減少をはかる方向で訓練を行う。

【方針 2】 知識ベース中に人為的に偽の推定ルールを埋め込み学習による貢献度の変化を追跡する。

具体的には、図 8 のように、既知古墳サンプルを E₁→M₁→L₁→E₂→M₂→L₂→E₃→M₃→L₃ の順に 9 回の訓練を行って 1 ラウンドとする。1 回の訓練では、つねに、①該当期の可能性を増加する、②他の二つの時期のうち可能性の大きいほうを減少するという二つの指示をシステムに与えることにした。

偽の推定ルールは知識ベース中にある既存の推定

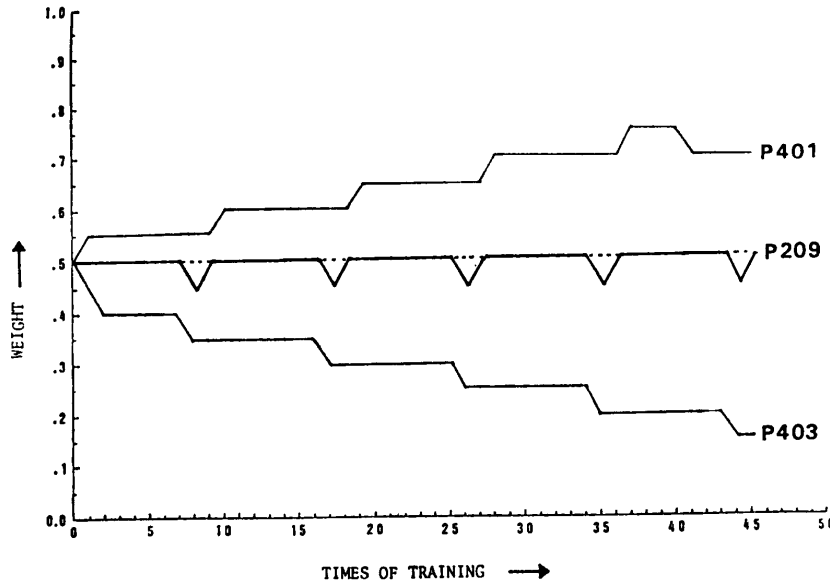


図9 貢献度の変化グラフ
Fig. 9 The weights varied by training.

表4 学習実験結果
Table 4 Experimental result.

Tomb	Possibilities		
	Early	Middle	Late
E ₁	0.95 (0.72)	0.26 (0.39)	0.21 (0.39)
E ₂	0.86 (0.78)	0.72 (0.67)	0.71 (0.57)
E ₃	0.93 (0.68)	0.28 (0.42)	0.26 (0.35)
M ₁	0.38 (0.52)	0.92 (0.72)	0.46 (0.64)
M ₂	0.41 (0.60)	0.97 (0.81)	0.27 (0.47)
M ₃	0.38 (0.52)	0.95 (0.77)	0.34 (0.59)
L ₁	0.29 (0.29)	0.26 (0.48)	0.95 (0.79)
L ₂	0.39 (0.61)	0.38 (0.48)	0.91 (0.68)
L ₃	0.14 (0.14)	0.36 (0.48)	0.78 (0.55)

() は学習前の可能性の値
() denotes the values before training.

ルール (番号 P 401 と P 403) の可能性係数を次のように更新モードで人為的に変更して作った (左が真, 右が偽).

P 401 if 堅穴式石室 then 前期 0.6
 ⇒ if 堅穴式石室 then 前期 0.1
 P 403 if 堅穴式石室 then 後期 0.1
 ⇒ if 堅穴式石室 then 後期 0.6

4.2 実験結果および考察

45回 (5ラウンド) の訓練を行い, 貢献度の変化を推定ルールについて逐次調べた. この結果を集計すると, 貢献度の変化に関して推定ルールは全体として次の四つのタイプに分類される (偽の推定ルールは

除外).
 (1) 変化しない: 58%
 (2) ほとんど変化しない: 16%
 (3) 増加する: 13%
 (4) 減少する: 11%
 (1)には発火しなかった推定ルールが含まれていると思われるが, 詳細は追跡不可能である. (2)のタイプには, 図9のP 209のように振動傾向を示すものがかなり含まれているが, E→M→L という順序の学習過程において, ある時点で補正が起きても, 後に逆の補正によって相殺されることを意味している. (3)に属する推定ルールは, 時期推定に有効であることを

を示すものであり, (4)はその逆を示すものとみられる. 一方, 図9に示すように, 二つの偽の推定ルールの貢献度は適正な方向に改善の傾向がみられる. 全体を概観すれば, 表4に示すようにすべての既知古墳サンプルについて方針1の意味で歴然とした改善効果が現れており, RAPS の学習は実用上十分な収束性をもっていると思われる.

5. むすび

次から次へと連鎖的にプロダクションルールが発火し, “深い” 推論を実行するシステムに対して, RAPS はきわめて “浅い” 推論を累積するという比較的単純な推論システムといえる. これはまったく問題の構造に依存するところである. 考古学における相対年代推定問題は, 前方後円墳に限らずすべて同型である. したがって, RAPS がたとえば銅鐔, 銅鏡, 集落, 石器, 土器, 建築物などありとあらゆる遺物・遺構の相対年代推定にそのまま利用できる汎用性を兼ね備えたエキスパートシステムとなっていることは明らかである.

RAPS の構築のねらいは, 考古学における最初のエキスパートシステムを常時稼動状態に置き, 多くの考古学者にその実用性を体験的に理解してもらうと同時に, 問題点を具体的に提出しやすい場を設定することにある. 今後, 考古学者の評価を集積し, RAPS の発展の方向を模索してゆきたいと考えている.

謝辞 帝塚山学院大上田宏範教授をはじめ考古学兄諸先生には方法論に関して多くの示唆をいただいた。大阪電通大秋山建二教授、水本雅晴教授、梅尾博司助教授からシステム設計において有益な助言をいただいた。記して感謝の意を表したい。LISP プログラミングは、本学小沢研卒研生諸君の努力によるところが大きい。吉川享志、大東義男、藤田正則、桑原賢二の諸君に深謝する。

参 考 文 献

- 1) Buchanan, B.G. and Feigenbaum, E. A.: DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their Applications Dimension, *Artificial Intelligence*, Vol. 11, No. 1, pp. 5-24 (1978).
- 2) Shortliffe, E. H.: *Computer-Based Medical Consultation: MYCIN*, American Elsevier, New York (1976).
- 3) Gaschnig, J.: Development of Uranium Exploration Models for the PROSPECTOR Consultant System, Final Rept. SRI Project 7856, SRI International, Menlo Park, Calif. (1980).
- 4) Erman, L.D. et al.: The HEARSAY-II Speech-Understanding System: Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty, *Comput. Surv.*, Vol. 12, No. 2, pp. 213-415 (1980).
- 5) Weiss, S.M. and Kulikowski, C. A.: A System for Developing Consultation Models, *IJCAI 6*, pp. 942-947 (1979).
- 6) Michalski, R. S. and Chilansky, R. L.: Knowledge Acquisition by Encoding Expert Rules versus Computer Induction from Examples: A Case Study Involving Soybean Pathology, *Int. J. Man-Mach. Stud.*, Vol. 12, No. 1, pp. 63-87 (1980).
- 7) Dincbus, M.: A Knowledge-Based Expert System for Automatic Analysis and Synthesis in CAD, Proc. IFIP Cong. 80, pp. 705-710 (Oct. 1980).
- 8) Ishizuka, M. et al.: SPERIL: An Expert System for Damage Assessment of Existing Structures, *IJCAI 6*, pp. 932-939 (Oct. 1982).
- 9) Kingsland, L. C. III et al.: An Expert Consultation System in Rheumatology: AI/RHEUM, Proc. 6th Ann. Sym. Appl. in Medical Care, pp. 748-752 (Nov. 1982).
- 10) Hollander, C.R. and Iwasaki, Y.: The Drilling Advisor: An Expert System Application, Digest of Spring COMPCON 83, pp. 116-119 (March 1983).
- 11) Blidberg, D.R. et al.: Expert Systems, A Tool for Autonomous Underwater Vehicles, Proc. Trends and Applications 1983, IEEE, pp. 149-153 (May 1983).
- 12) Tou, J. T. and Cheng, J. M.: Design of a Knowledge-Based Expert System for Applications in Agriculture, Proc. Trends and Applications 1983, IEEE, pp. 181-189 (May 1983).
- 13) Cadion, P.: SPEC: An Expert System in an EDP System Configuration, *Productivité et Informatique (Paris) Proc.*, pp. 272-277 (June 1983).
- 14) Swift, K. and Mathews, A.: Expert Computer Systems in Engineering Design, *Engineering*, Vol. 223, No. 9, pp. 673-678 (1983).
- 15) 辻井: プロダクションシステムとその応用, 情報処理, Vol. 20, No. 8, pp. 735-743 (1979).
- 16) Rosenblatt, F.: *Principles of Neurodynamics, Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, Spartan Book Co., Rochelle Park, N. J. (1961).
- 17) 志村: パターン認識と学習機械, 昭晃堂, 東京 (1970).
- 18) Waterman, D. A.: Generalization Learning Techniques for Automating the Learning Heuristics, *Artificial Intelligence*, Vol. 1, No. 1, pp. 121-170 (1970).
- 19) Anderson, J.: A General Learning Theory and Its Application to the Acquisition of Proof Skills in Geometry, in Michalski, R. S. et al., eds.: *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, Tioga Press, Palo Alto, Calif. (1983).
- 20) 小沢: 前方後円墳データベースと形態分析, 考古学ジャーナル, 215号, pp. 32-36 (1983).
- 21) 小沢: 講座・情報工学, 季刊考古学, 第3号, (1983).
- 22) Ozawa, K.: Computer Assisted Techniques for Detecting Underground Remains Based on Acoustic Measurement, *Archaeometry*, Vol. 21, No. 1, pp. 87-100 (1979).
- 23) Ozawa, K.: REDATO: A Research Support System Complex with the Databases of Japanese Ancient Tombs Based on the Relational Data Model, Proc. IGARSS '83, IEEE, pp. 31-36 (Aug. 1983).
- 24) Ozawa, K.: Classification of the Keyhole Tombs by Template Matching Method, *IEEE Trans. Com.*, Vol. C-27, No. 5, pp. 462-467 (1978).
- 25) Ozawa, K.: CLASSIC: A Hierarchical Clustering Algorithm Based on Asymmetric Similarities, *Pattern Recognition*, Vol. 16, No. 2, pp. 201-211 (1983).
- 26) Michels, J. W.: *Dating Methods in Archaeology*, Seminar Press, New York (1973).
- 27) Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets, *Inf. Cont.*, Vol. 8, No. 6, pp. 338-353 (1965).
- 28) Winston, P. H. (長尾訳): 人工知能入門, 近代科学社, 東京 (1981).

(昭和59年3月12日受付)
(昭和59年10月18日採録)