エキスパートシステムによる火山灰対比の試み

山本 嘉一郎*・中川 要之助**

1. はじめに

最近種々の分野で、エキスパートシステムを中心としたAI（人工知能）的手法の研究とその応用が進められている。特にエキスパートシステムは、最も実用化が進んでおり、いくつかの成功例も報告されている。エキスパートシステムとは、その分野や問題の専門家が持つ問題解決のノウハウをコンピュータに入れておき、これを使って、与えられた問題に対して、システムが専門家の様な判断や解答を行うというものである。これまでコンピュータが不得意としてきた、数式化しにくいような問題の解決に有効であるといわれ、主に、医療、故障・事故の診断・処置、資源探査、軍事作戦、飛行計画などの分野で研究が始められ、その成果が報告されるとともに、その適用範囲が急速に拡大されつつある。地質学の分野においても、地層の対比や化石の同定など、豊富な知識と経験を基に、高度な専門的判断により解決される問題が数多く存在する。むしろそれが地質学的研究の特徴の1つであると言っても過言ではないと思われる。このことが地質学にコンピュータ技術の適用を困難にしている面もあり、エキスパートシステムはこれを解決し、地質学におけるコンピュータの利用を飛躍的に拡大する可能性を持っていると考えられる。

本研究はこのようなエキスパートシステムの地質学的問題への適用性を検討するものであり、その最初の試みとして、火山灰の対比のためのシ

テムを作成した。以下、作成したシステムといくつかの検証結果を示し、その有用性について考察する。

2. エキスパートシステムを適用した問題と使用したデータ

第1表のような火山灰中の火山ガラスの主要8元素の組成に基づいて、火山灰を対比する問題に対して、エキスパートシステムを作成した。システムは次の2種類を作成した。

- ①任意の火山灰に対し、第1表の6種の広域火山灰と対比するシステム。
- ②琵琶湖深層掘削コア中の火山灰との対比を行うシステム。

使用したデータはいづれも横山・西田(1987)による。

第1表 広域火山灰中の火山ガラスの分析結果、横山・西田(1987)より。
()内は標準偏差。

試験番号	元素組成							
	Na ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO
アカホヤ 火山灰	2.15 (0.62)	0.90 0.37	10.72 0.10	76.83 0.39	2.19 0.12	2.77 0.25	0.42 0.08	4.02 0.58)
陸奥 火山灰	5.21 (0.56)	1.38 0.26	17.13 0.24	65.41 0.64	4.44 0.26	1.76 0.17	0.24 0.07	4.45 0.48)
入戸 火山灰	3.31 (0.59)	1.02 0.32	10.81 0.16	79.88 0.84	2.63 0.10	1.37 0.09	0.10 0.02	1.17 0.26)
瀬生 火山灰	3.22 (0.54)	1.31 0.24	11.41 0.11	76.11 0.50	2.26 0.10	2.21 0.17	0.33 0.03	3.13 0.29)
上仰木 火山灰	2.15 (0.47)	0.86 0.24	11.69 0.31	77.99 0.51	3.54 0.16	1.57 0.16	0.22 0.04	1.98 0.23)
ピンク 火山灰	1.39 (0.54)	0.68 0.28	10.15 0.13	80.85 0.58	3.60 0.19	1.51 0.09	0.18 0.05	1.64 0.27)

* 光華女子短期大学家政科
** 同志社大学工学部

3. 方 法

ここではエキスパートシステムの概要と今回採用した手法について説明する。今回作成のシステムの詳細は次節で説明する。

エキスパートシステムとは、AI（人工知能）の応用分野の1つで、あらかじめ専門家の知識を「知識ベース」という形で、その中に入力しておき、与えられた問題に対し、これを使って、専門家並みの推論を行わせるシステムである。システムは第1図のように、「知識ベース」とこれを使って推論を進める「推論エンジン」とからなる。またエキスパートシステムは、この「知識ベース」を作成する際の知識の表現法と、「推論エンジン」における推論の進め方により、いくつかのタイプに分類される。

第1図 エキスパートシステムの構成概念図

「知識ベース」における知識の表現法としては、次の3種が代表的である。

- ①ルール（プロダクションルール）型
- ②意味ネットワーク型
- ③フレーム型

ルール型は、「もし～ならば～である」という形のいわゆる「IF ... THEN ...」ルールにより知識を表現するもので、この知識を使って推論を

行う時は、丁度三段論法の様な形で進められる。この型による知識の表現は、知識ベースを作成していく上で、比較的分りやすく、推論もどのように進められるか理解しやすいといった利点がある。また、経験的な知識はこの方法で表現しやすいといわれる。しかしながら一方、「属性と値」の形で表現されるような、宣言的知識に対してはこの型の知識表現は不向きである。

意味ネットワーク型では、知識表現を「属性－値」あるいは属性間の関係といった形で表現し、宣言的な知識に対して、われわれの持つ知識の形に近い。フレーム型はこれをさらに発展させたものである。

推論の方法には「前向き」と「後ろ向き」の2通りがある。前向き推論では、与えられたルールの中で、条件部（「もし～」の～）の成立するものを探し、その結論が条件として成立するようなルールを探す。これを続けることにより、三段論法的に、与えられた条件から最終結論に至る。

後ろ向き推論はその逆で、結論を仮説の形で置き、この仮説が結論として成立するルールをまず探し、その条件が成立するかどうかを調べる。それが分らない時は、さらにこの条件が結論として成立しているルールを探し、その条件が成立しているかどうかを調べる。これを続けて、先に置いた仮説の成否を調べる。

あらかじめ結論がいくつかの有限なカテゴリーとして存在するような問題（例えば、故障原因の追及や病気の診断など）では後ろ向き推論が、結論が無数に存在するような問題（例えば設計など）では前向き推論が適していると言われる。

今回は次の様な理由で、ルール型の知識ベースで後ろ向き推論を行うシステムとした。また、システムの作成にはエキスパートシステム作成用のソフト「EXSYS」（EXSYS社製）を使用した。

- ①問題が診断などのタイプに近い。
- ②ルール型の知識表現が可能な問題である。
- ③利用できるソフトがこのタイプである。

エキスパートシステムによる火山灰対比の試み

4. 知識ベースの作成

今回の問題では、知識ベースに組入れる知識は、「同じ起源の火山灰では、その中に含まれる火山ガラスの主要元素組成値が似通っている」というものである。実際には、第1表などのような主要8元素組成値のデータを使用する。これらの値は確率的なものであり、当然バラツキがあり、表の様に平均値と標準偏差でその特徴が表される。これと比較する時、標準偏差が小さいものでは、平均値との差がかなり小さくなければ似ていると言えないし、逆に標準偏差が大きい時は、平均値から少々離れていても起源が異なるとは言い切れない。このように平均値との照合は、標準偏差を考慮して行わなければならない。

一方、今回使用したエキスパートシステム作成用ソフトには、あいまいなルールを扱うために「確信度」という概念があり、その条件（ルール）が成立する時、その結論がどの程度確からしいかを表すことができる。いくつかのルールで出て来た確信度を総合して再終結論を出すことができる。そこで今回は、第2図に示すように、各元素組成ごとにルールを作成し、ルールごとに全ての対比対象の火山灰である可能性を確信度で表し、最後にこれを総合して判定するような形の知識ベースを作成した。確信度の決定とその総合は次のような方法によることとした。

確信度の決定は、まず元素組成値の分布を標準正規分布と仮定し、これを適当な間隔（等間隔）で分割する。そして、各区間の中央の値を x とする時、次の様な値の範囲に入る確率を、その区間に元素組成値がある時の確信度とする。

平均値 - $|x - \text{平均値}|$

～ 平均値 + $|x - \text{平均値}|$

確信度の総合は、確信度の低いものでも、集まれば次第に確信度が高まるとの考えに立ち、次式のように行う。

$$1 - \{(1 - x) \times (1 - y)\}$$

ここに x と y は2つの確信度である。さらに3つ以上の確信度を総合する時は、これを繰り返す。

第2図 ルールと確信度を総合する手順

5. 検証結果と考察

システムの検証を次の様に行った。

①広域火山灰と対比するシステムの検証

2通りの検証を行った。第1に、第1表の統計値算出の基礎となった、個々の火山ガラスについて対比を行い、第2に、琵琶湖深層掘削試料中の火山灰を広域火山灰と対比した。

②琵琶湖深層掘削試料中の火山灰と対比するシステムの検証

200m掘削の試料を1400m掘削の試料と対比する。

(1) 広域火山灰と対比するシステムの検証

第2表に、第1表の基礎となった火山ガラスの対比結果を示す。ほとんどのケースで正しく判定され、確信度が第1位にならなかったケースでも、第3位までには全てのケースが入っている。

第3表に、広域火山灰と対比した結果を示す。対比は横山・西田(1987)で実施されたものについて行ったもので、同表中に横山・西田(1987)の結論を示した。12ケース中8ケースが横山・西田(1987)の結論と一致し、他のケースでも横

山・西田(1987)の考察から、このような結果となることもやむを得ないと判断されるものが多い。

(2) 琵琶湖深層掘削試料中の火山灰と対比するシステムの検証

横山・西田(1987)で対比が確定したものについて、本システムで対比し、これと比較した結果を第4表に示す。9ケースのうち6ケースが一致し、残り3ケースのうち1ケースは第2位の確信度、1ケースは第1位のものと大差のない確信度を示している。

第2表 広域火山灰と対比するシステムの検証結果(その1). 第1表の基礎となる個々の火山ガラスの対比.

確信度の 順位	ピンク火山灰		上仰木火山灰		合 計	
	個数	割合(%)	個数	割合(%)	個数	割合(%)
1	22	76	17	85	39	80
2	5	17	3	15	8	16
3	2	7	0	0	2	4
合 計	29	100	25	100	49	100

第3表 広域火山灰と対比するシステムの検証結果(その2). 琵琶湖深層掘削コアの対比

対比試料No	対比結果(確信度)							横山・西田(1987)の対比
	アカホヤ	隠岐	入戸	蒲生	上仰木	ピンク		
B. 3-3	○45	14	10	25	2	0		アカホヤに似ているが異なる火山灰
B. 5-3(1)	○46	14	10	33	8	0		アカホヤに対比される
B. 15	20	7	○46	3	37	13		アカホヤに対比されない
B. 5-3(L)	16	11	11	○22	8	5		隠岐に対比される
B B. 23	12	6	9	○28	6	12		隠岐に対比されない
B. 5-3(M)	○19	4	9	18	6	11		〃
B. 22CC	○14	12	5	4	6	0		〃
B B. 55	11	1	○36	1	24	27		入戸(始良)に対比される
B B. 233	○60	4	26	20	10	0		蒲生に対比される
B B. 425	16	12	9	○18	16	0		上仰木に対比されない
B. 943(U)	16	5	21	6	30	○54		ピンクと大差ないが対比は困難
B. 943(L)	16	5	26	2	32	○38		〃

注) ○印は最も確信度が高いもの。

エキスパートシステムによる火山灰対比の試み

第4表 琵琶湖深層掘削試料中の火山灰と対比するシステムの検証結果. 200m掘削試料の1400m掘削試料との対比.

200m掘削試料No.	対比結果 (対比された1400m掘削試料No.と確信度)	
BB. 23	<u>B. 5-3 (M)</u> (64)	B. 5-3 (L) (51)
BB. 51	B. 167-1 (70)	<u>B. 14-2</u> (54)
BB. 55	B. 13-3* (51)	B. 17-2 (50) <u>B. 15-2</u> (23)
BB. 179	<u>B. 53-3</u> (59)	B. 5-3 (U) (45)
BB. 207	<u>B. 75-2</u> (51)	B. 286CC (42)
BB. 233	<u>B. 87-3</u> (57)	B. 5-3 (U) (56)
BB. 323	B. 83-2* (42)	B. 208CC* (41) <u>B. 125-3</u> (37)
BB. 395 (1)	<u>B. 167-1</u> (67)	B. 13-3/2 (52)
BB. 425	<u>B. 185-3</u> (56)	B. 183-3* (35)

注) 下線は横山・西田 (1987) の対比結果。カッコ内の数値は確信度を示す。

6. あとがき

エキスパートシステムを火山灰の対比に適用することにより、地質学的な問題への同システムの適用性を検討した。その検証の結果、研究者が通常行っているような程度の判断には一応成功していると思われる。専門外の研究者や技術者が対比を行う時、あるいは専門家が予備的に複数の対比可能な火山灰を選び出す時など、その助けとなることも期待できそうである。

一方この種の問題では通常、専門家はすべての項目に一樣に注目するのではなく、より特徴的な項目に注目して比較を行っていると考えられる。今回のシステムではこれを、標準偏差を取入れることにより考慮したが、経験的な方法や岩石学的な他の知見を知識ベースに取入れることにより、より精度の高い対比のできるシステムとなることが考えられる。

今回のような形で知識ベースを作成することは

比較的容易であったが、このような操作により対比を行うことは従来の手法でも、判別分析などにより可能である。エキスパートシステムは、より経験的な数値化の困難な問題で真価を発揮するものと考えられる。今回の研究で地質学的問題へのエキスパートシステムの適用の可能性を1つ示せたものと考えられるが、今後は、このような点を重視して、さらに有効な適用事例を追及したいと考えている。

最後に、本研究で使用了火山灰資料の提供と研究についての御支援を頂いた、同志社大学横山卓雄教授に厚くお礼申し上げたい。

引用文献

横山卓雄・西田史朗 (1987) 琵琶湖深層試錐中の火山ガラスのEDX分析による火山灰の同定と対比. 地質学雑誌, 93(4), PP. 275-286.

山本嘉一郎・中川要之助

A Study on Applying the Expert System for Correlating Volcanic Ash Layer

YAMAMOTO, Kaichiro* and NAKAGAWA, Younosuke**

* Institute of Information Processing

Kouka Women Jounior College, Kyoto, 615, Japan

** Department of Technology, Doshisha University,
Kyoto, 602, Japan

ABSTRACT

An expert system which correlates volcanic ash layer is developed for studying the applicability of such techniques to geologic problems. Several example correlations by using the system show good results. As a result, it is suggested that the expert system is well applicable to geologic problems.