



慶應義塾大学ビジネス・スクール

推論エンジンの一例

今、個人専用の自動車修理工の機能を持つエキスパート・システムが欲しいものとして、知識ベースの中に蓄えられているデータはつぎのようなものである。

仮説

FLAT BATTERY,

0.1, 5, 1, 0, 0.99, 2, 0.7, 0.05, 4, 0.2, 0.5, 5, 0, 0.99, 6, 1, 0.01

NO PETROL,

0.05, 2, 2, 1, 0.01, 6, 0.9, 0.02

DAMP IN IGNITION

0.01, 3, 3, 0.9, 0.1, 4, 0.25, 0.5, 6, 0.9, 0.02

DIRTY SPARK PLUGS

0.01, 2, 4, 0.01, 0.5, 6, 0.9, 0.02

証拠

1. LIGHTS WORKING,

ARE THE LIGHTS WORKING ?

2. PETROL GAUGE LOW,

IS THE PETROL GAUGE READING LOW ?

3. VEHICLE EXPOSED TO DAMP,

HAS THE VEHICLE BEEN PARKED IN DAMP CONDITIONS ?

4. VEHICLE RECENTLY SERVICED,

HAS THE VEHICLE BEEN RECENTLY SERVICED ?

本ケースはCHRIS NAYLOR の論文「How To Build an Inference Engine (1984) に基いて作成したものである。

5. STARTER MORTOR TURNING,
IS THE STARTER MORTOR TURNING ?

6. CAR WON'T START,
WILL THE CAR NOT START ?

これらのデータの内、上の4組は仮説に関するデータである。例えば、最初のものは、バッテリーが上っている、という仮説である。これに続く数字の最初は、この仮説の事前確率である。次の数字は、この仮説と関連する証拠が幾つあるかを示す数字である。ここではその様な証拠が5ケある。次の3ケづゝ組になった5組の数字がそれぞれの証拠に対応している。3ケの数字の最初は証拠の番号であり、これは下にある証拠1-6の何れかである。そして、二つ目は、仮説が正しい場合にその証拠が現れる条件付確率であり、三つ目は、逆に仮説が正しくない場合にその証拠が現れる条件付確率である。仮説1についてはこの様な数字の組が他に四つあるが、外の仮説についても同様である。証拠は1から6迄あるが、2行目はそれぞれの証拠に対応する質問文である(図1参照)。

このミニ・エキスパート・システムでは、勿論、仮説の数は限定されているが、これらの何れが故障の原因であるかが明かになればそれに対して適切な修理を施すことが出来る様なものでなくてはならないであろう。事前確率は自動車を点検する前にその故障がどの原因によるかに関する不確実性の評価である。これは故障の原因についての極く一般的なデータを基に付与しなければならない場合もあろうし、車種や車の特徴によって異なるもう少し具体的なデータが利用できるかもしれない。しかし問題の車の最近の調子に関する知識があれば、それが最も望ましいであろう。一般にこれらは専門家の知識の重要な部分であり、専門家が過去に蓄積した経験から導かれるものであるが、特に最後のデータなどは専門家が持っていない場合が多いであろう。この点は専門家以外の方がエキスパート・システムを利用する場合の利点として重要であるように思われる。専門家の持つ知識の内恐らく最も専門家らしい知識は、仮説と証拠との関係についてのものであろう。特定の仮説がどの証拠と結びついているか、そしてそれぞれの結合の強さがどの程度のものであるか、これらを明示的に示すものが上述の仮説に伴っている一連の数字に他ならない。図1に示されるように、仮説が正しいとき、或いは仮説が正しくないときに、証拠が実現しないという条件付確率はこのデータ・ベースでは省略されている。それは、これらが必要な際はデータ・ベース内の条件付き確率を1から差し引くことによって求めることが出来るからである。

このシステムの具体的な利用は次の様な手続きに従うことになる。先ず仮説の事前確率

を付与する。この段階で特定の仮説の確率が十分大きければ、別にシステムを利用する迄もなく、その仮説に対応する適切な措置を取れば良い。しかし通常はこの例の様に小さなものである。それらの間での選択を行うのに仮説と証拠の関係を利用したい。そしてその場合に問題となるのが、実際にどの証拠から、どの様な順序で利用するかということである。このシステムでは先ず全ての証拠について、それが存在する場合と、存在しない場合の双方で特定の仮説の条件付確率を計算する。具体的には上述の証拠の下にある質問をしてイエス或いはノーの回答を得れば証拠が存在するかどうかが明らかになる。そしてある証拠の存在（イエス）は特定の仮説が正しいことを確認し、その非存在（ノー）はその仮説の正しさを否認する。ベイズの定理を用いた条件付確率の計算は、証拠1と証拠2について図2に例示されている。問題は、これらの条件付確率を用い、具体的にどの様にして、証拠の順位を設定するかということである。この点に関して、C.ネイラーは次の様な証拠の価値Vを計算することを提案している。即ち、

$$V_j = \sum_i | P(H_i | E_j) - P(H_i | \text{not } E_j) |$$

ここで V_j は証拠 j の価値であり、 $P(H_i | E_j)$ は証拠 j が存在する時、即ち証拠 j に関する質問の回答がイエスである時に、仮説 H_i の正しさが確認される条件付確率である。また $P(H_i | \text{not } E_j)$ は証拠 j が存在しない時、即ち証拠 j に関する質問の回答がノーである時に、仮説 H_i の正しさが確認される条件付確率である。 E_2 について V_2 を計算すると

$$\begin{aligned} V_2 &= | P(H_1 | E_2) - P(H_1 | \text{not } E_2) | + | P(H_2 | E_2) \\ &\quad - P(H_2 | \text{not } E_2) | \\ &= | .6087 - .0339 | + | .8403 - 0 | \\ &= 1.4151 \end{aligned}$$

この式の右辺にある最初の絶対値の中は、仮説1の正しさを証拠2の存在がどれだけ確認するかを示す $P(H_1 | E_2)$ から、同じく仮説1の正しさを証拠2の非存在がどれだけ確認するかを示す $P(H_1 | \text{not } E_2)$ を差し引いたものである。これは E_2 が全体としてどれだけ H_1 を確認するか、その純額を示すものと考えられる。第二の絶対値の中は同じことを仮説 H_2 について計算したものであり、これで E_2 と関係のある仮説は全て尽くしている。この様に、 V_2 は E_2 が仮説全体にどの様な影響を与えるかを示す一つの尺度である(図2参照)。

各 E_j について V_j を計算すると次の様になる。

1.	LIGHTS	WORKING	0.9174		
2.	PETROL	GAUGE	LOW	1.4151	
3.	VEHICLE	EXPOSED	TO	DAMP	0.0822

4. VEHICLE RECENTLY SERVICED	0.1376
5. STARTER MOTOR TURNING	0.9174
6. CAR WON'T START	2.3807

5
 10
 これで見ると、証拠 6 が最も仮説全体に大きな影響を与えることが判る。システムはこれを検出して、WILL THE CAR NOT START ? という質問をする。そしてシステムの利用者が車を点検して、イエスまたはノーの何れかを回答する。利用者の回答がイエス、ノーのいずれであるかによって、システムは再びベイズの定理を用いて、証拠 6 と関連ある仮説の事前確率を事後確率に修正する。ここで得られた仮説の事後確率の中に十分大きなものがあれば、それに対応する適切な措置をとり、そうでなければ、修正された事後確率に基づいてもう一度証拠の価値を計算し直し、再び上述の手続きを繰り返すことになる。そしてこれが全ての証拠について行われたところでシステムは停止する。

図 1

データ・ベース

- 仮説 1 FLAT BATTERY
- 事前確率 $P(H_1) = 0.1$
 - 証拠の数 = 5

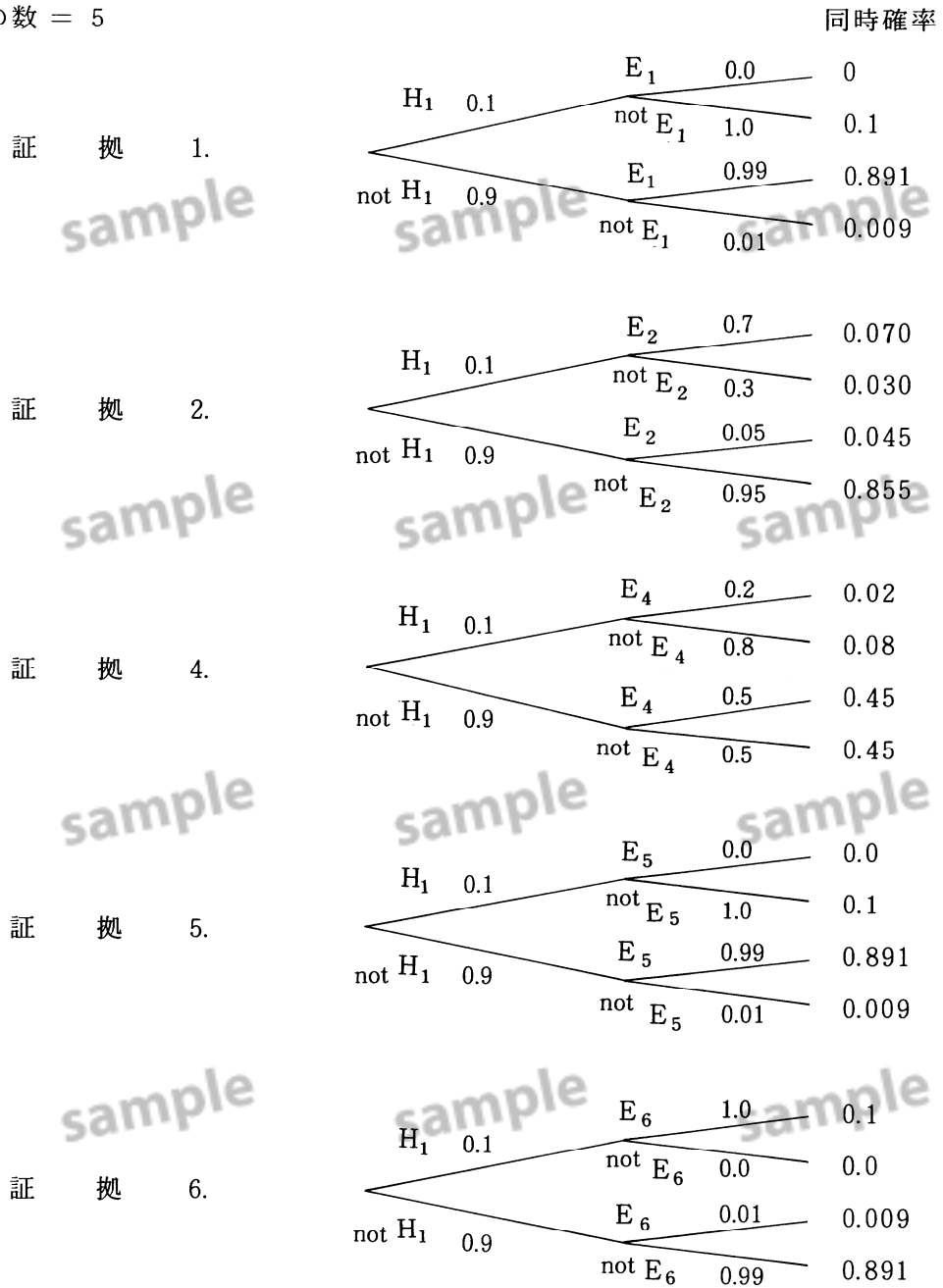


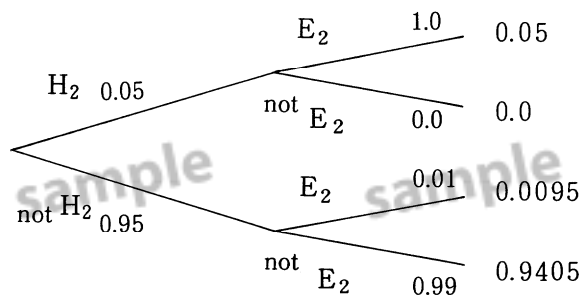
図 1

(つづき)

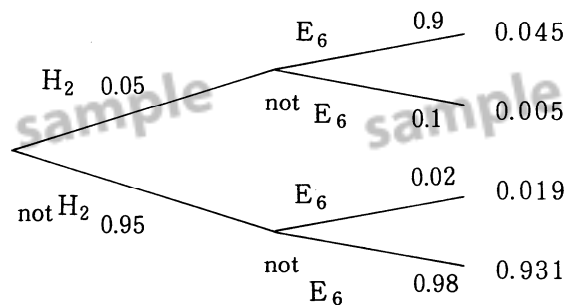
仮説 2 NO PETROL

- 事前確率 $P(H_2) = 0.05$
- 証拠の数 = 2

証 拠 2.



証 拠 6.

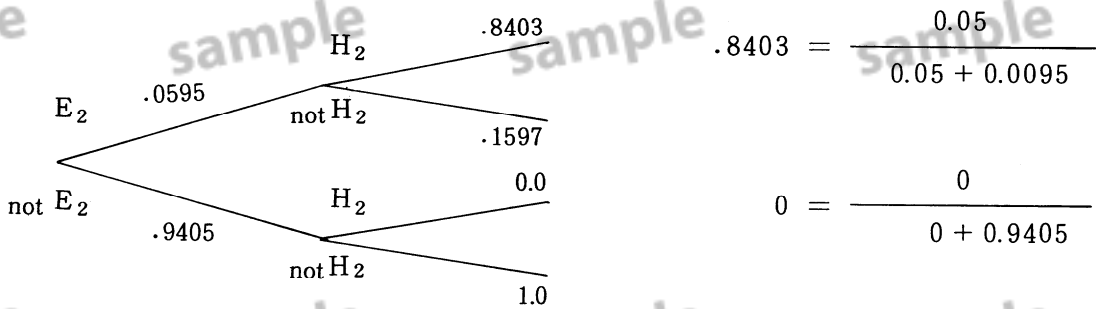


(仮説 3 以下は省略)

図 2

確率の逆転と証拠の価値

仮説 H_1, H_2 と証拠 2. の場合



附 録 1

プログラム 実行例 (——は入力を示す)
アンダーライン

HYPOTHESES

PROBABILITIES

FLAT BATTERY	.1
NO PETROL	.05
DAMP IN IGNITION	.01
DIRTY SPARK PLUGS	.01

EVIDENCES

VALUES

LIGHTS WORKING	.917431
PETROL GAUGE LOW	1.41513
VEHICLE EXPOSED TO DAMP	.0822123
VEHICLE RECENTLY SERVICED	.137696
STARTER MOTOR TURNING	2.23816

WILL THE CAR NOT START ? y

HYPOTHESES

PROBABILITIES

FLAT BATTERY	.917431
NO PETROL	.703125
DAMP IN IGNITION	.3125
DIRTY SPARK PLUGS	.3125

EVIDENCES

VALUES

LIGHTS WORKING	.999101
PETROL GAUGE LOW	1.2112
VEHICLE EXPOSED TO DAMP	.755495
VEHICLE RECENTLY SERVICED	.815314
STARTER MOTOR TURNING	.999101

IS THE PETROL GAUGE READING LOW ? y

HYPOTHESES

PROBABILITIES

FLAT BATTERY	.993612
NO PETROL	.995796
DAMP IN IGNITION	.3125
DIRTY SPARK PLUGS	.3125

EVIDENCES

VALUES

LIGHTS WORKING	.999936
VEHICLE EXPOSED TO DAMP	.755495
VEHICLE RECENTLY SERVICED	.696711
STARTER MOTOR TURNING	.999936

IS THE STARTER MORTOR TURNING ? y

HYPOTHESES

PROBABILITIES

FLAT BATTERY	0
NO PETROL	.995796
DAMP IN IGNITION	.3125
DIRTY SPARK PLUGS	.3125

EVIDENCES

VALUES

LIGHTS WORKING	0
VEHICLE EXPOSED TO DAMP	.755495
VEHICLE RECENTLY SERVICED	.684895

HAS THE VEHICLE BEEN PARKED IN DAMP CONDITINS ? y

HYPOTHESES

PROBABILITIES

FLAT BATTERY	0
NO PETROL	.995796
DAMP IN IGNITION	.803571
DIRTY SPARK PLUGS	.3125

EVIDENCES

VALUES

LIGHTS WORKING

0

VEHICLE RECENTLY SERVICED

.652906

HAS THE VEHICLF BEEN RECENTLY SERVICED ? y

HYPOTHESES

PROBABILITIES

FLAT BATTERY

0

NO PETROL

.995796

DAMP IN IGNITION

.671642

DIRTY SPARK PLUGS

9.00901E-03

EVIDENCES

VALUES

LIGHTS WORKING

0

附 録 2

プログラム・リスト

```

100 DIM H$(10),PH(10),PHH(10),PHN(10),NUME(10),LAB(10,10),LABE(10,10),PY(10,10),
PN(10,10),E$(10,2),RV(10)
110 FOR I=1 TO 4:READ H$(I):NEXT I
120 FOR I=1 TO 4:READ PH(I),NUME(I):FOR J=1 TO NUME(I):READ LABE(I,J),PY(I,LABE(
I,J)),PN(I,LABE(I,J)):NEXT J:NEXT I
130 FOR I=1 TO 6:READ E$(I,1),E$(I,2):NEXT I
140 FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO NUME(I):LAB(I,LABE(I,J))=1:NEXT J:NEXT I
200 PRINT "HYPOTHESES";:PRINT "          PROBABILITIES":PRINT
201 LPRINT "HYPOTHESES";:LPRINT "          PROBABILITIES":LPRINT
204 FOR I=1 TO 4:LPRINT H$(I),PH(I):NEXT I:LPRINT :LPRINT
205 FOR I=1 TO 4:PRINT H$(I),PH(I):NEXT I:PRINT :PRINT
206 KKK=0
207 PRINT "EVIDENCES", "    ", "VALUES":PRINT
208 LPRINT "EVIDENCES", "    ", "VALUES":PRINT
210 FOR J=1 TO 6:RV(J)=0
215 FOR K=1 TO 6
216 IF JDEL(K)=J THEN 300
217 NEXT K
220 FOR I=1 TO 4
225 IF LAB(I,J)=0 THEN GOTO 270
230 PRIOR=PH(I):PYY=PY(I,J):PNN=PN(I,J):GOSUB 3000:PHH(I)=POSTERIOR
250 PRIOR=PH(I):PYY=1-PY(I,J):PNN=1-PN(I,J):GOSUB 3000:PHN(I)=POSTERIOR
260 RV(J)=RV(J)+ABS(PHH(I)-PHN(I))
270 NEXT I
274 LPRINT E$(J,1),RV(J)
275 PRINT E$(J,1),RV(J)
276 KKK=KKK+1
300 NEXT J
310 MAX=0:JMAX=0
315 FOR J=1 TO 6
316 FOR K=1 TO 6:IF JDEL(K)=J THEN 330:NEXT K
320 IF RV(J)>=MAX THEN JMAX=J ELSE 330
325 MAX=RV(J)
330 NEXT J

```

```

335 KK=KK+1:JDEL(KK)=JMAX
336 IF MAX=0 OR KKK=0 OR JMAX=0 THEN GOTO 500
340 PRINT :PRINT :PRINT E$(JMAX,2);:INPUT K$:PRINT :PRINT
341 LPRINT :LPRINT :LPRINT E$(JMAX,2);" ? ";K$:LPRINT :LPRINT
350 FOR I=1 TO 4
370 IF LAB(I,JMAX)=0 THEN 430
375 IF K$="Y" OR K$="y" THEN 380 ELSE 420
380 PRIOR=PH(I):PYY=PY(I,JMAX):PNN=PN(I,JMAX):GOSUB 3000:PH(I)=POSTERIOR
395 GOTO 430
420 PRIOR=PH(I):PYY=1-PY(I,JMAX):PNN=1-PN(I,JMAX):GOSUB 3000:PH(I)=POSTERIOR
430 NEXT I
450 GOTO 200
500 END

1000 DATA " FLAT BATTERY ", " NO PETROL ", " DAMP IN IGNITION", " DIRTY
SPARK PLUGS"
1010 DATA .1,5,1,0,.99,2,.7,.05,4,.2,.5,5,0,.99,6,1,.01
1020 DATA .05,2,2,1,.01,6,.9,.02
1030 DATA .01,3,3,.9,.1,4,.25,.5,3,.9,.02
1040 DATA .01,2,4,.01,.5,6,.9,.02

2000 DATA " LIGHTS WORKING", "ARE THE LIGHTS WORKING "
2010 DATA " PETROL GAUGE LOW", "IS THE PETROL GAUGE READING LOW "
2020 DATA " VEHICLE EXPOSED TO DAMP", "HAS THE VEHICLE BEEN PARKED IN DAMP CONDI
TIONS "
2030 DATA " VEHICLE RECENTLY SERVICED", "HAS THE VEHICLE BEEN RECENTLY SERVICED
"
2040 DATA " STARTER MOTOR TURNING", "IS THE STARTER MOTOR TURNING "
2050 DATA " CAR WON'T START", "WILL THE CAR NOT START "
3000 POSTERIOR=(PYY*PRIOR)/(PYY*PRIOR+PNN*(1-PRIOR))
3010 RETURN

```

不許複製

慶應義塾大学ビジネス・スクール

Contents Works Inc.