

人工衛星の診断 - 知識ベースアプローチ -

産業技術総合研究所 岩田敏彰, 本村陽一
東京大学 町田和雄

There are two approaches for diagnosing satellites: the sensor-based approach and the knowledge-based approach. The former approach starts from the detection of sensor signals, and infers the malfunction. On the other hand, the latter approach starts from the background of the malfunction origin, compares the forecasted state with the observed satellite state, and infers the malfunction. In this study, we propose a new knowledge-based approach. In this approach, many past malfunction data are required. First, we compiled 104 malfunction cases of 55 satellites as database. Then, the malfunction is categorized according to phenomenon, cause, and background, among others. Next, we analyze the categories and find their properties. We use a model construction algorithm, which is Quinlan's C5.0 for the decision tree. The construction of Bayesian networks is helpful as they can execute probabilistic reasoning for malfunction prediction. Finally, we present a satellite-diagnosis method that utilizes the combination of the attribute categorization, the decision tree and the Bayesian network.

1. はじめに

人工衛星を診断する場合、2つのやり方が考えられる。センサベースアプローチと知識ベースアプローチである。センサベースアプローチの場合、まずセンサ信号の検出から始め、不具合を推定する。一方、知識ベースアプローチの場合は、不具合発生の背景から始め、予想される状態と観測される状態を比較し、不具合を推定する。さまざまな故障診断に用いられる FTA(Fault Tree Analysis)や FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)は知識ベースアプローチに属する。これらの概念を Fig. 1 に示す。筆者らはこれまでにセンサベースアプローチを行ってきたが[1]、この方法にはいつどの部分をどのセンサで調べればいいかということを説明ができない欠点がある。このような欠点を克服するために知識ベースアプローチが必要である。知識ベースアプローチでは過去の多くの不具合のデータとそれぞれの不具合に対する知識が必要である。背景、原因、現象といった不具合に関する属性をそれぞれの不具合について分類した。不具合の分類を行うために C5.0 を用いて決定木を作成し、不具合に関する属性間の規則を同時に獲得した。得られた決定木から、属性間の因果関係を示すベイジアンネットワークを構築した。

2. 属性について

一般に、人工衛星の故障や不具合の入手可能な報告は断片的で、背景、原因、現象などの属性に分類されておらず、使用される語彙も報告者によりまちまちである。データベースを構成するために元の報告書に対してある種のフォーマットと分類が必要である。主な属性として、背景(background)、原因(cause)、現象(phenomenon)、観測(observation)、故障箇所(malfunction part)を定義し、補助的な属性として衛星名(satellite name)、打上日(launch date)、故障発生日(failure date)、最低軌道(orbit (lowest))、最高軌道(orbit (highest))、ミッション(mission)を考えることにした。各属性について以下に詳しく述べる。

2.1 背景(background)

「背景」は、直接不具合を起こすものではないが、不具合の原因を誘発するものと定義する。例えば、太陽活動は人工衛星の不具合を直接引き起こすものではないが、太陽電池を劣化させる高エネルギー陽子を放出する。このため、太陽活動は不具合の「背景」と考えられる。

2.2 原因(cause)

「原因」は人工衛星の不具合の直接の起源

と定義する．例えば，高エネルギー陽子は太陽電池の劣化を直接引き起こすので「原因」と考えられる．「原因」は背景と関連すると考えられる．

2.3 現象 (phenomenon) と観測 (observation)

「現象」は，必ずしも搭載センサで観測されとは限らない物理的現象を意味する．例えば，太陽電池の劣化の物理的な様子は直接センサでは観測できない．

「観測」は搭載センサやテレメトリデータで，不具合を示唆する直接観測されるものである．例えば，太陽電池の劣化の場合は，出力の低下のような形で検出される．

「現象」と「観測」の区別は，現実的には難しいところもあり，多くの報告でもこれらを区別していないが，ここでは可能な限り区別することとした．

2.4 故障箇所 (malfunction part)

「故障箇所」はミッションに依存する．バス (ミッションによらない部分) としては，太陽電池パドル，アンテナ，ジャイロ，制御回路などが含まれる．通信衛星のパーツとしては，進行波管増幅器 (TWTA) や送信機が含まれる．地球観測衛星では可視・赤外スピン走査放射計 (VISSR) や合成開口レーダ (SAR) などが含まれる．静止衛星では，アポジエンジンなどが含まれる．用語についてはなるべく統一することとし，例えば報告の著者によって太陽電池パドル，太陽電池パネル，太陽電池アレイと異なる用語が使われていても実質的に同じものを表すと考えられる場合には太陽電池パドルとした．

2.5 補助的な属性

用いたデータベースには，6 個の補助的な属性を考えた．

- (1) 衛星名：衛星を区別するために衛星名を用いた．
- (2) 最高軌道：次の最低軌道とともに放射線，原子状酸素など衛星の置かれた環境に関連する．
- (3) 最低軌道：同上．
- (4) 打上日：衛星が開発された時期の技術レベルや経験を反映する．
- (5) 不具合発生日：衛星が開発された時期の技術レベルと衛星が宇宙に存在した期間を反映する．
- (6) ミッション：通信，地球観測，科学，

技術開発などにより搭載機器が異なる．

もとなつた報告[2-6]は断片的なので，筆者が推測により補い，データベースを完成させた．データベースは 55 の衛星について 104 の場合を集めたものである (Fig. 2)．

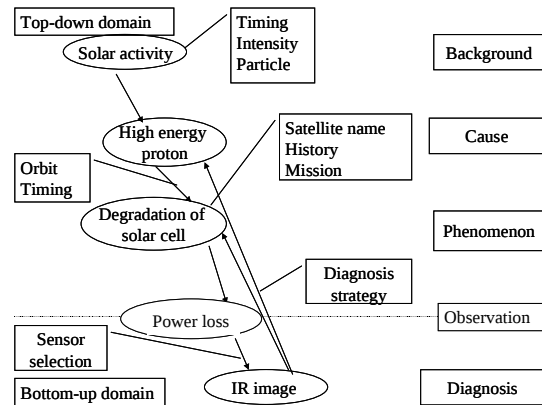


Fig. 1 Diagnosis concept.

3. 決定木とベイジアンネットワーク

属性を分類するために，Quinlan の C5.0[7] を用いた．C5.0 は優れたデータマイニングツールであり，決定木やルールを作成するのに使用される．例えば「原因 (cause)」を目的変数とすると，このことは「原因 (cause)」が結果となるような決定木が構成され，決定木に現れる属性は「原因 (cause)」の発生源になると考えられる．Fig. 3 に C5.0 を使って得られた決定木を示す．

この決定木は，「背景 (background)」 「不具合発生日 (failure date)」 「最低軌道 (orbit(lowest))」 「ミッション (mission)」 が「原因 (cause)」に影響を及ぼすことを示しており，この関係をベイジアンネットワークで表現すると Fig. 4 のようになる．

4. 結果

3 節で述べた方法により，属性のうち「原因 (cause)」 「現象 (phenomenon)」 「観測 (observation)」 「故障箇所 (malfunction part)」 を目的変数として C5.0 に適用することにより，145 個のルールと，結果を組み合わせることにより Fig. 5 のようなベイジアンネットワークを得ることができた．

得られたルールは次のようなものである．

- (1) if mission = science and background = vacuum then cause = arc_discharge.
- (2) if malfunction_part = solar_paddle and observation = power_loss then phenomenon = short_circuit.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Satellite name	Orbit (lowest)	Orbit (highest)	Mission	Launch date	Failure date	Malfunction part	Observation	Phenomenon	Cause	Background
1	ADEOS	800	800	earth observation	1996/8/17	1997/6/1	solar paddle	power loss	parameter estimation error	design error	human factor
2	ADEOS	800	800	earth observation	1996/8/17	1997/6/1	solar paddle	power loss	measure error	design error	human factor
3	ADEOS	800	800	communication	1991/2/26	1994/1/20	control circuitry	control loss	control circuit operational anomaly	high energy electron	human factor
4	Anik-E1	36000	36000	communication	1991/4/4	1994/1/21	control circuitry	?	control circuit operational anomaly	high energy electron	solar activity
5	Anik-E2	36000	36000	communication	1991/4/4	1994/1/21	control circuitry	?	control circuit operational anomaly	high energy electron	solar activity
6	BS	36000	36000	broadcast	1978/4/8	1979/6/1	antenna	deployment error	material selection error	design error	human factor
7	BS	36000	36000	broadcast	1978/4/8	1979/6/1	antenna	crack of insulator	material selection error	design error	human factor
8	BS	36000	36000	broadcast	1978/4/8	1980/5/1	antenna	crack of insulator	material selection error	design error	human factor
9	BS	36000	36000	broadcast	1978/4/8	1980/6/1	antenna	crack of insulator	material selection error	design error	human factor
10	BS-2a	36000	36000	broadcast	1984/1/23	?	antenna	?	material selection error	thermal stress	eclipse
11	BS-2a	36000	36000	broadcast	1984/1/23	?	antenna	?	material selection error	design error	human factor
12	BS-2a	36000	36000	broadcast	1984/1/23	?	antenna	?	material selection error	design error	human factor
13	BS-2a	36000	36000	broadcast	1984/1/23	?	antenna	?	material selection error	thermal stress	eclipse
14	BS-2b	36000	36000	broadcast	1986/2/12	1986/2/15	thruster	motion anomaly	material selection error	assembly error	human factor
15	BS-3a	36000	36000	broadcast	1990/8/28	1991/3/1	solar cell	power loss	unexpected particle degradation	high energy proton	solar activity
16	Comet	36000	36000	communication	1995/7/7	1996/7/24	boom	?	physical damage	collision damage	space debris
17	Comet	36000	36000	communication	1995/7/7	1996/7/24	boom	?	physical damage	collision damage	micro meteorite
18	Echostar-3	36000	36000	communication	1997/10/5	?	electric power converter	overheating	material selection error	design error	human factor
19	ECS	36000	36000	communication	1979/2/6	1979/2/9	N/A	lost	physical damage	collision damage	space debris
20	ECS	36000	36000	communication	1979/2/6	1979/2/9	N/A	lost	physical damage	collision damage	micro meteorite
21	ERS-2	?	?	meteorological	1995/4/21	1995/5/1	active microwave instrument	no operation	faulty circuit	design error	human factor
22	ETS-6	?	?	engineering test	1994/8/28	1994/8/30	apogee engine	pressure anomaly	location selection error	design error	human factor
23	ETS-6	?	?	engineering test	1994/8/28	1994/8/30	apogee engine	pressure anomaly	displacement	vibration	launching
24	ETS-6	?	?	engineering test	1994/8/28	1994/9/3	microswitch	no telemetry confirmation	transformation	thermal stress	eclipse
25	ETS-6	?	?	engineering test	1994/8/28	1994/9/3	microswitch	no telemetry confirmation	transformation	thermal stress	eclipse
26	Eutelsat-1	36000	36000	?	?	?	solar paddle	power loss	transformation	stress relaxation	microgravity
27	Eutelsat-1	36000	36000	?	?	?	solar paddle	power loss	short circuit	arc discharge	vacuum
28	Eutelsat-1	36000	36000	?	?	?	solar paddle	power loss	short circuit	thermal stress	eclipse
29	Explorer-6	237	41900	science	1959/8/7	1959/10/6	solar paddle	power loss	short circuit	collision damage	micro meteorite
30	EXPRESS	?	?	engineering test	1995/1/15	1995/1/15	solar paddle	power loss	deployment error	operation error	human factor
31	Fengyun-1B	?	?	meteorological	1993/6/24	1998/5/19	electrical circuit	oscillation	parameter estimation error	design error	human factor
32	Galaxy-4	36000	36000	communication	1993/6/24	1998/5/19	control circuitry	control loss	control circuit operational anomaly	high energy proton	solar activity
33	Galileo	N/A	N/A	science	1989/10/18	?	antenna	deployment error	control circuit operational anomaly	high energy proton	solar activity
34	Galileo	N/A	N/A	science	1989/10/18	?	antenna	deployment error	cold welding	clean surface	vacuum
35	GMS	36000	36000	meteorological	1977/7/14	1977/11/1	power source	?	lubrication shortage	vibration	transportation
36	GMS-3	36000	36000	meteorological	1984/8/3	1985/4/1	visir	abnormal sensor output	unexpected situation	corona discharge	vacuum
37	GMS-3	36000	36000	meteorological	1984/8/3	1985/4/1	visir	abnormal sensor output	encoder processing malfunction	design error	human factor
38	GMS-3	36000	36000	meteorological	1984/8/3	1985/4/1	visir	abnormal sensor output	lubricant build-up	?	?
39	GOES-4	?	?	?	?	?	visir	?	charge up	?	?
40	GOES-6	?	?	?	?	?	visir	?	charge up	?	?
41	GOES-6	?	?	?	?	?	visir	?	charge up	?	?
42	GOES-9	36000	36000	?	1985/5/23	1991/3/23	solar panel	power loss	degradation	high energy proton	solar activity
43	Hipparcos	?	?	science	1988/8/8	1989/8/8	computer	soft error	single event phenomenon	high energy proton	solar activity
44	Hipparcos	?	?	science	1988/8/8	1989/8/8	momentum wheel	overheating	high current	?	?
45	Hobird-2	36000	36000	broadcast	1996/11/21	2000/3/21	apogee engine	not fired	location selection error	design error	human factor
46	Hobird-2	36000	36000	broadcast	1996/11/21	2000/3/21	N/A	black-out	unexpected situation	design error	human factor
47	Hobird-5	36000	36000	broadcast	1998/10/9	?	N/A	black-out	leaking thrusters	design error	human factor
48	HST	586.47	610.44	science	1990/4/25	1990/4/25	solar cell	degradation	material selection error	assembly error	human factor
49	Insat-1A	?	?	?	?	?	telescope mirror	strain	parameter estimation error	design error	human factor
50	Insat-1B	?	?	?	?	?	solar sail	deployment error	inoperative mechanical latch	?	?
51	Insat-1K	36000	36000	communication	1992/6/10	1994/1/20	solar paddle	control loss	thermal binding	?	?
52	Insat-1K	36000	36000	communication	1992/6/10	1994/1/20	control circuitry	control loss	control circuit operational anomaly	electromagnetic storm	solar activity
53	ISS	999	1018	earth observation	1976/2/26	1976/3/4	battery	over-charging	parameter estimation error	solar wind stream	human factor

Fig. 2 Satellite malfunction data (continue)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
54	JERS-1	568	568	earth observation	1992/2/11	1993/12/1	cooler	motion stop	unexpected particle	levitation particle	microgravity
55	JERS-1	568	568	earth observation	1992/2/11	?	sat	deployment error	cold welding	clean surface	vacuum
56	JERS-1	568	568	earth observation	1992/2/11	?	sat	deployment error	mechanical seizure	vibration	launching
57	Magion-2	500	2493	science	1989/9/28	1989/9/28	boom	deployment error	parameter estimation error	design error	human factor
58	Magion-2	500	2493	science	1989/9/28	1989/9/28	boom	deployment error	stiction	low temperature	eclipse
59	Magion-2	500	2493	science	1989/9/28	1989/9/28	solar paddle	deployment error	parameter estimation error	design error	human factor
60	Magion-2	500	2493	science	1989/9/28	1989/9/28	solar paddle	deployment error	stiction	low temperature	eclipse
61	Magion-2	500	2493	science	1989/9/28	1989/9/28	thruster	?	?	?	?
62	Magion-2	500	2493	science	1989/9/28	1989/9/28	solar cell	power loss	charge up	high energy proton	solar activity
63	Magion-2	500	2493	science	1989/9/28	1989/9/28	solar cell	power loss	degradation	high energy proton	solar activity
64	Magion-3	438	3071	science	1991/12/28	1992/8/20	battery charger	power loss	radiation damage	high energy proton	solar activity
65	MARECS-1	?	?	?	1991/3/23	1991/3/23	N/A	lost	control circuit operational anomaly	high energy proton	solar activity
66	Nimbus-1	?	?	earth observation	1964/8/28	1964/9/23	solar paddle actuator	?	parameter estimation error	design error	human factor
67	Nimbus-1	?	?	earth observation	1964/8/28	1964/9/23	solar paddle actuator	?	lubrication degradation	high temperature	vacuum
68	NOAA-11	?	?	earth observation	1989/7/12	1991/3/23	N/A	control loss	control circuit operational anomaly	high energy proton	solar activity
69	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1991/5/29	N/A	lost	unvalidated procedure	operation error	human factor
70	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1989/7/15	solar paddle	deployment error	miswiring	design error	human factor
71	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1989/7/15	solar paddle	deployment error	miswiring	assembly error	human factor
72	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1991/1/1	solar paddle	stopping tracking	short circuit	assembly error	human factor
73	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1989/7/15	ires	?	parameter estimation error	high temperature	vacuum
74	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1989/7/15	ires	?	parameter estimation error	design error	human factor
75	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1991/2/1	communication channel	channel lost	short circuit	assembly error	human factor
76	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1993/8/11	N/A	abnormal sensor output	unexpected motion	collision damage	space debris
77	Olympus-1	36000	36000	communication	1989/7/12	1993/8/11	N/A	abnormal sensor output	particle discharge	collision damage	space debris
78	Palapa-C1	36000	36000	communication	1986/1/31	1988/11/24	battery	not rechargeable	?	?	?
79	PAS-8	36000	36000	communication	1988/12/4	?	transponder	?	location selection error	design error	human factor
80	REXS	6570	250	science	1972/8/19	1972/8/22	semiconductor device	?	discharge from high voltage	arc discharge	vacuum
81	SEASAT	?	?	?	?	?	slip ring	power loss	short circuit	arc discharge	vacuum
82	SEASAT	?	?	?	?	?	slip ring	power loss	short circuit	levitation particle	microgravity
83	SEASAT	?	?	?	?	?	slip ring	power loss	location selection error	design error	human factor
84	SOHO	?	?	?	1995/12/2	1998/6/24	N/A	lose orientation	preprogrammed command error	assembly error	human factor
85	SOHO	?	?	?	1995/12/2	1998/6/24	N/A	lose orientation	command for unexpected telemetry	operation error	human factor
86	TDF-1	36000	36000	broadcast	1988/10/28	1989/8/1	tw	?	short circuit	gas leak	vacuum
87	TDF-1	36000	36000	broadcast	1988/10/28	1989/8/1	tw	?	short circuit	gas leak	vacuum
88	TDF-2	?	?	?	1980/7/24	?	tw	?	unexpected situation	design error	human factor
89	TDRS-1	36000	36000	communication	1983/4/4	1983/4/5	tw	?	unexpected situation	design error	human factor
90	TDRS-1	36000	36000	communication	1983/4/4	1983/4/5	ram	?	control circuit operational anomaly	high energy proton	solar activity
91	TDRS-1	36000	36000	communication	1983/4/4	1983/4/5	inertial upper stage	control loss	single event phenomenon	high energy proton	solar activity
92	TDRS-1	36000	36000	communication	1983/4/4	1983/4/5	inertial upper stage	control loss	burst	gas leak	vacuum
93	TDRS-1	36000	36000	communication	1983/4/4	1983/4/5	inertial upper stage	control loss	nozzle throat seal impact	high temperature	vacuum
94	TDRS-1	36000	36000	communication	1983/4/4	1983/4/5	inertial upper stage	control loss	nose cap damage	high temperature	vacuum
95	Telecom-1B	36000	36000	communication	1985/5/8	1988/1/15	N/A	flat spin	power transient	high temperature	vacuum
96	Telecom-1	36000	36000	?	1999/8/12	1999/8/15	solar paddle actuator	?	?	assembly error	human factor
97	Tempo-2	?	?	?	1993/12/12	1997/1/11	N/A	?	short circuit	magnetic cloud event	solar activity
98	Tempo-2	?	?	broadcast	1997/3/8	1997/4/11	solar paddle	power loss	short circuit	?	?
99	Thor-2	36000	36000	communication	1997/5/20	1997/5/20	N/A	inversion of V/H waves	miswiring	assembly error	human factor
100	Tubsat-B	?	?	engineering test	1994/1/25	1994/3/5	transmitter	loss of contact	launch load stress	vibration	launching
101	Tubsat-B	?	?	engineering test	1994/1/25	1994/3/5	transmitter	loss of contact	parameter estimation error	design error	human factor
102	TVSAT-1	36000	36000	broadcast	1987/11/20	1987/11/20	solar paddle	deployment error	structural damage	assembly error	human factor
103	Uosat-4	?	?	communication	1990/1/22	1990/1/24	telemetry and command subsystem	lost command capability	insufficient margin	design error	human factor
104	Wester-6	?	?	communication	1984/2/3	1984/2/3	apogee engine	extinguishing	measure error	design error	human factor
105	Wester-6	?	?	communication	1984/2/3	1984/2/3	apogee engine	extinguishing	unexpected situation	design error	human factor
106	Wester-6	?	?	communication	1984/2/3	1984/2/3	apogee engine	extinguishing	parameter estimation error	design error	human factor

Fig. 2 Satellite malfunction data.

- (3) if phenomenon = structural_damage then malfunction_part = solar_paddle.
 (4) if malfunction_part = solar_cell then observation = power_loss.

一般に、ベイジアンネットワークは条件付確率表（CTP）が特定できなくなるので双方向の矢印は許されていない．ここで得られたベイジアンネットワークは双方向の矢印が一部含まれており，最終的には経験則にしたがっていずれか一方を選ぶ必要がある．

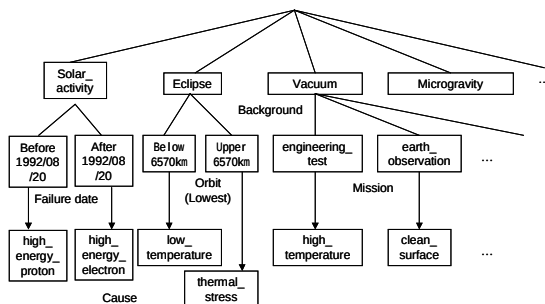


Fig. 3 Example of decision tree.

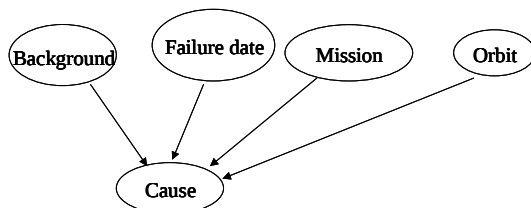


Fig. 4 Bayesian Network constructed by Fig.3.

5．考察

5．1 予想しなかった関係

はじめ，Fig. 1 に示したように「背景」「原因」「現象」「観測」と，連続した関係を仮定しており，「ミッション」「軌道」「故障箇所」「打上日」「不具合発生日」の間には関係を考えていなかった．C5.0 を使うことにより，それらが互いに影響を及ぼすことがわかった．これはより広い見方を与えてくれるものである．例えば「不具合発生日」が「原因」に影響を及ぼしている．これは「背景」に含まれているかもしれない何か異常な出来事が不具合発生日に起こったとして説明できる可能性があり，また未熟な技術が原因と考えることもできる．また，「ミッション」が「故障箇所」に影響を与えているが，搭載装置がミッショ

ンに依存しており，その装置が故障したと考えられる．

5．2 他の方法との比較

人工衛星の故障診断において，FTA(Fault Tree Analysis)と FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)は代表的な知識ベースアプローチである．FTA では故障の観測を仮定し，その観測状態を可能とする現象と故障箇所を推論する．このアプローチは Fig.5 では破線の矢印で示される．また，FMEA はシステムを部分に分け，故障箇所が起こす現象を考察する．このアプローチは Fig. 4 の太い矢印で示されている．これらのことから得られたベイジアンネットワークはこれらの方法を包摂しているといえる．Fig. 5 に示されたベイジアンネットワークは一般化された巨視的な関係を示した分析法を表している．

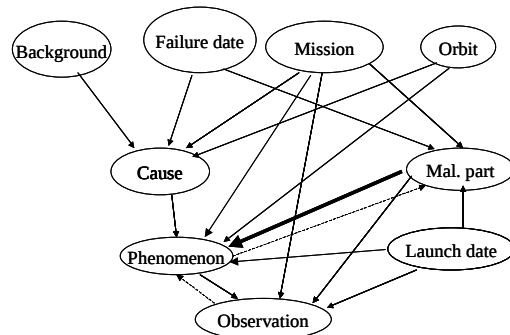


Fig. 5 Obtained Bayesian network.

6．おわりに

本論文において述べたことは以下のようにまとめられる．

- (1) 55 の人工衛星に対し，104 の不具合事例をデータベースとしてまとめた．
- (2) データベースは「背景」「原因」「現象」「観測」「故障箇所」「衛星名」「ミッション」「最高軌道」「最低軌道」「打上日」「不具合発生日」を属性として持つ．
- (3) C5.0 を用いて決定木を作成し，その結果から 145 個のルールとベイジアンネットワークを得た．
- (4) 予想しなかったルールや属性間の関係が得られ，それらは FTA や FMEA の概念を含んだものとなっている．

文献

- [1] Iwata, T. and Machida, K.: "Diagnosis of Small Satellites Using Multiple Sensors and a Robot," AIAA-2000-4482, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 14-17 August 2000, Denver, CO.
- [2] Takano, A.: "Tribology-Related Space Mechanism Anomalies and the Newly Constructed High-Vacuum Mechanism Test Facilities in NASDA," Tribology International 32, pp.661-671, 1999.
- [3] Lauriente, M., Vampola, A. L., Koga, R. and Hosken, R.: "Spacecraft Anomalies due to the Radiation Environment,"
<http://envnet.gsfc.nasa.gov/Papers/Reno98.html>, AIAA 36th Aerospace Sciences Meeting, 1998.
- [4] <http://sat-nd.com/failures/timeline.html>
- [5] http://spaceboy.nasda.go.jp/Db/Kaihatu/Eisei/Eisei_E/
- [6] Freeman, M. T.: "Spacecraft On-Orbit Deployment Anomalies: What Can Be Done?," IEEE AES Systems Magazine, pp. 3-15, 1993.
- [7] <http://www.rulequest.com/see5-info.html>
- [8] Russell, S. and Norvig, P.: "Artificial Intelligence A Modern Approach," pp. 531-558, Prentice Hall, 1995.
- [9] Suzuki, J., Makino, T. and S. Ishizaka: "FMEA/FTA no jisshou", Nikka-giren, 1982. (in Japanese)
- [10] Motomura, Y., and Hara, I.: "Bayesian Network Learning System based on Neural Networks", Proceedings of Assian Fuzzy Systems Symposium, vol.2, pp.826-831, 2000.