

2-1. バリエーションツリーアナリシス (VTA)

2-1-1. VTA の考え方

VTA は、認知科学分野で提案された定性的な事後分析手法である (Leplat & Rasmussen, 1984; 1987)。分析の対象を既に発生した事故に限定し、事故発生に関与した複数の要因を明らかにした上で、対策策定の可能な箇所を明確にしようとするものである。VTA は、フランスの国立安全研究所 (Institut national de recherche et de sécurité; INRS) の開発した INRS method (Leplat, 1978) に端を発するが、**2 章** 特定の手法であった INRS method に対して、再発防止を目的とした対策指向型の分析手法であるという特徴を持つ。

VTA は事象のチェーンの考えを根底におくが、連続における「変化」を特に強調している。すなわち、事故は通常の作業状態もしくは習慣的な作業状態の中で発生した、いくつかの逸脱や変動の結果として発生した (Leplat & Rasmussen, 1984; 1987)。逸脱や変動とは、具体的には通常とは異なる人間の判断や行動、作業工程、物理環境等を指しており、総称して変動要因と呼んでいる (Leplat & Rasmussen, 1984; 1987)。VTA はこれらの変動要因をシンボルを用いてツリー状で記述し、個人、タスク、機器、物理環境ごとに発生順に整理して並び、ツリー状に表わしたものである。なお変動要因として取り扱うのは確定事実のみであり、推定要因は含まないのが原則である。Leplat & Rasmussen (1987) は VTA による分析例として、トラック運転手が壁に衝突した事例を取り上げている (Fig.2-1-1)。

事故分析手法を用いた 人的要因分析

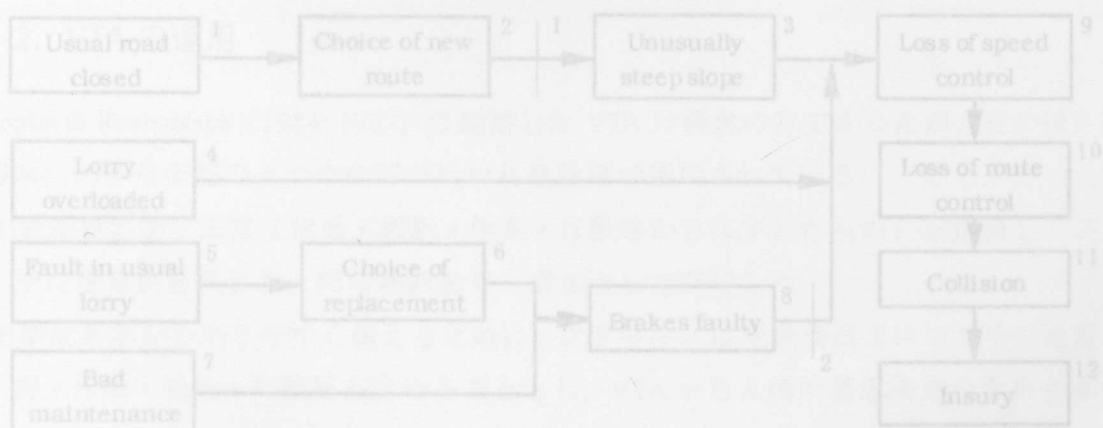


Fig.2-1-1 分析例 (Leplat & Rasmussen 1987, p.159)

この図からもわかるように、VTA において変動要因として取り扱うのは、人間行動や物理的な状態等、外部から観察可能なものであり、人間の内的な情報処理過程は含んでいない。これは従来の事故調査が行動のみに焦点を絞っており、情報処理過程が分析の対象と

2-1. バリエーションツリーアナリシス (VTA)

2-1-1. VTA の考え方

VTA は、認知科学分野で提案された定性的な事後分析手法である (Leplat & Rasmussen, 1984; 1987)。分析の対象を既に発生した事故に限定し、事故発生に関与した複数の要因を明らかにした上で、対策策定の可能な箇所を明確にしようとするものである。VTA は、フランスの国立安全研究所 (Institut national de recherche et de sécurité; INRS) の開発した INRS method (Leplat, 1978) に端を発するが、事故原因特定の手法であった INRS method に対して、再発防止を目的とした対策指向型の分析手法であるという特徴を持つ。

VTA は事象のチェーンの考えを根底におくが、連鎖における「変化」を特に強調している。すなわち、事故は通常の作業状態もしくは習慣的な作業状態の中で発生した、いくつかの逸脱や変動の結果として発生すると考える (Leplat & Rasmussen, 1984; 1987)。逸脱や変動とは、具体的には通常とは異なる人間の判断や行動、作業工程、物理環境等を指しており、総称して変動要因と呼んでいる。

VTA はこれらの変動要因をシンボルを用いてステップで記述し、個人、タスク、機器、物理環境ごとに発生順に整理して並べ、ツリー状に表わしたものである。なお変動要因として取り扱うのは確定事実のみであり、推定要因は含まないのが原則である。Leplat & Rasmussen (1987) は VTA による分析例として、トラック運転手が壁に衝突した事例を取り上げている (Fig.2-1-1)。

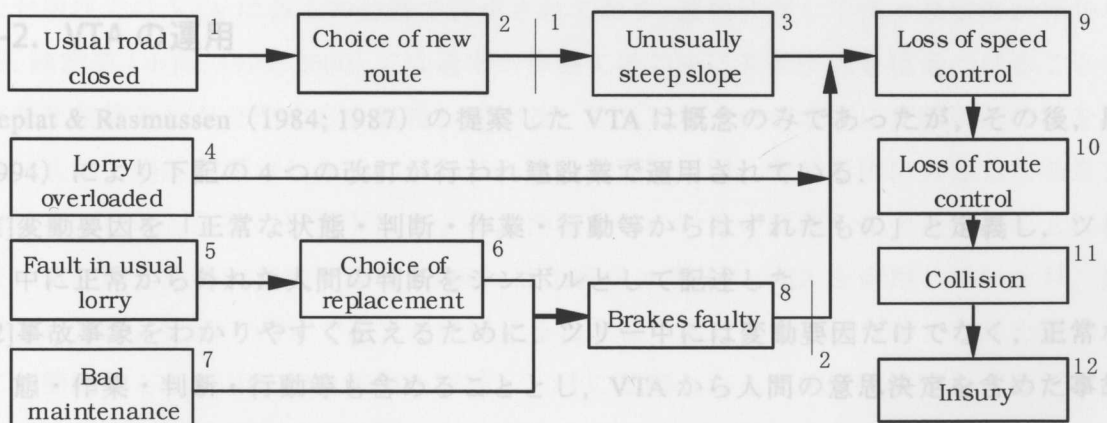


Fig.2-1-1 分析例 (Leplat & Rasmussen 1987, p.159)

この図からもわかるように、VTAにおいて変動要因として取り扱うのは、人間行動や物理的な状態等、外部から観察可能なものであり、人間の内的な情報処理過程は含んでいない。これは従来の事故調査が行動のみに焦点を絞っており、情報処理過程が分析の対象と

なっており、結果的に確定事実として明らかになっていないためであると Leplat & Rasmussen (1987) は指摘している。

VTA では Fig.2-1-2 のような分析結果をもとに対策を検討する際、ツリーから事故原因を特定し、原因に対して対策を策定するという方法は選択しない。事故にいたる流れを止めることで、事故の発生を防止するという考えをとる。よって特定するのは対策を実施することで事故にいたる流れを止めることのできる箇所となる。このために2つの考え方が提案されている (Leplat & Rasmussen, 1984; 1987)。

一つは変動要因の効果を排除することで、事故にいたる流れを切るというものである。これは変動要因である物理的な状態や人間の行動の根拠となるものの変更、改善を意味する。もう一つの考え方は変動要因自体の変更、改善ではなく、要因と要因の連鎖を切るというものである。これは事故にいたる流れに気づかせる、もしくは流れを断ち切るための意思決定を可能にさせるような変更、改善を行うことを指す。これらの方法を用いて対策を検討する際に Leplat & Rasmussen (1984; 1987) が強調しているのは、人間の意思決定にさかのぼることである。ツリー中に示される人間の行動の背後には、多くの場合意思決定が関与しており、物理環境も計画、管理段階にさかのぼれば何らかの意思決定が関与している。出力され変動要因となった行動や物理状態と人間の内的な意思決定は1対1の対応をしているわけではないことから、どのような意思決定がなされたのかについて十分な調査が行われなければ有効な対策を導き出すことはできないということである。ただし、VTA では意思決定段階の「どこで」対策を策定できるかという視点で意思決定を取り扱っている。VTA の目的が原因追求ではなく、対策策定であるためである。

2-1-2. VTA の運用

Leplat & Rasmussen (1984; 1987) の提案した VTA は概念のみであったが、その後、黒田 (1994) により下記の4つの改訂が行われ建設業で運用されている。

[1]変動要因を「正常な状態・判断・作業・行動等からはずれたもの」と定義し、ツリー中に正常から外れた人間の判断をシンボルとして記述した。

[2]事故事象をわかりやすく伝えるために、ツリー中には変動要因だけでなく、正常な状態・作業・判断・行動等も含めることとし、VTA から人間の意思決定を含めた事故の全体像がつかめるようになった。

[3]事故にいたる一連の行動を規定する背後要因に着目し、「事故発生全般にわたって影響をおよぼしている要因」として前提条件を定義し、ツリー下部に記述した。

[4]横書きから縦書きに変更され、最終的に発生した事故事象が頂上に記述された。

この結果、VTA の基本型は Fig.2-1-2 のようになった。ここでは①が最終的に発生した事故を表している。③のシンボルの右肩の丸の記号を変動要因を取り除くことによって対策

可能な箇所を表す記号とし、この記号のついたシンボルを「排除ノード」と呼んだ。⑧と⑨のシンボルの間の実線は、対策を施すことで流れを切ることでできる箇所とし、「ブレイク」と呼んでいる。また欄外右側は事故発生状況を理解する上で、より細かい必要な説明が必要な場合に用いる説明欄である。

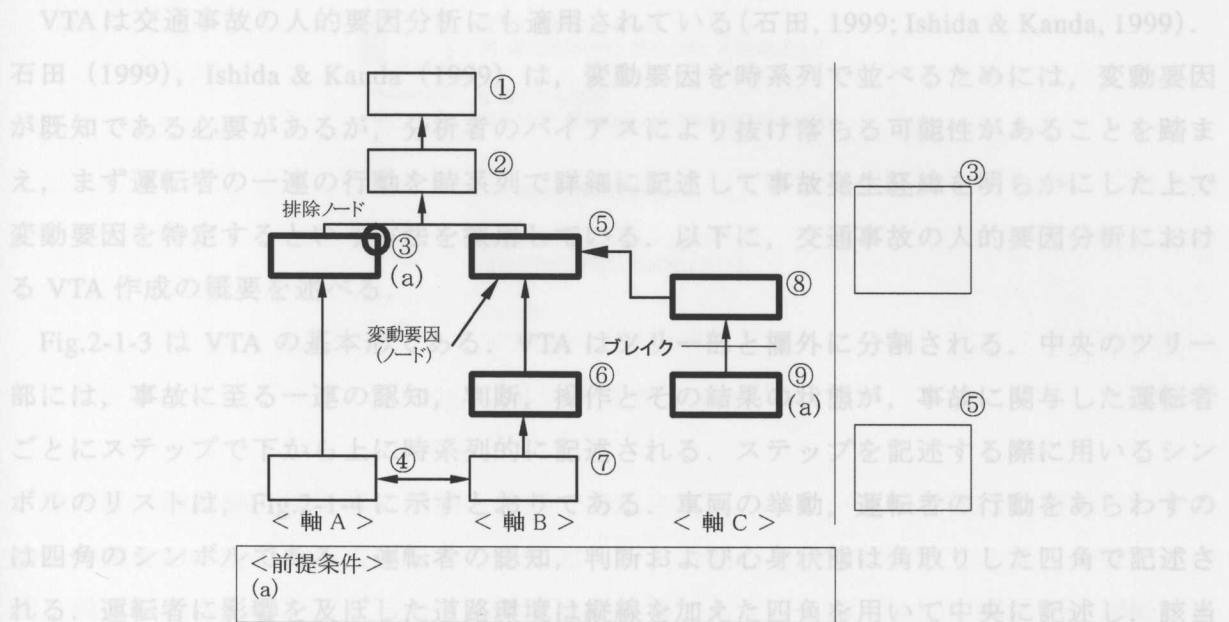


Fig.2-1-2 VTA 基本形

黒田 (1994) は現場での利用のしやすさに主眼を置き、対策の策定方法は現場で実行しやすく、受け入れられやすいものを検討するにとどめ、特に意思決定にさかのぼって検討しなければならないとはしていない。

なお現在では VTA は多くの分野で利用されており、適用に際して様々な改訂が行われている。建設業 (小澤, 1997; 2000) では通常の作業工程の中に変動要因を位置づけることで、災害発生経緯のわかりやすさを重視している。そしてツリー作成後に変動要因のみを抽出して、人的・物的要因 (ヒューマンエラー) と管理的要因・背後要因に分類した結果および対策をあわせて 1 枚のシートにまとめ、作業員への対策の理解や安全意識の向上に利用している。鉄道分野 (重森・深澤, 2000) は工事中の事故に VTA を適用しているが、関係者が多いため、1つの VTA で全てを記述することより非常に複雑になる。これを避けるために、簡略化したツリーで全体像を作成し、特に問題となる変動要因についてサブツリーを作成してより深く分析している。また実施しなかった行動を点線の四角で記すことで、作業の抜け落ちを分かりやすくしている。航空機事故の分析へ適用した研究 (神田・石田, 2000) では、パイロットの操作や航空機の状態だけでなく、ボイスレコーダーをもとにした管制官との交信やコックピット内での会話を記述し、コミュニケーションの行き違いが誤った行動にどのように結びついたのかを検討するために用いている。電力業では、VTA を作成した上で、背後要因の探索と対策の立案までを総合的に実施する分析システムを開

発，運用している（吉澤，2002）。

2-1-3. VTA による交通事故の人的要因分析

VTA は交通事故の人的要因分析にも適用されている（石田，1999；Ishida & Kanda，1999）。石田（1999），Ishida & Kanda（1999）は，変動要因を時系列で並べるためには，変動要因が既知である必要があるが，分析者のバイアスにより抜け落ちる可能性があることを踏まえ，まず運転者の一連の行動を時系列で詳細に記述して事故発生経緯を明らかにした上で変動要因を特定するという方法を採用している。以下に，交通事故の人的要因分析における VTA 作成の概要を述べる。

Fig.2-1-3 は VTA の基本形である。VTA はツリー部と欄外に分割される。中央のツリー部には，事故に至る一連の認知，判断，操作とその結果の状態が，事故に関与した運転者ごとにステップで下から上に時系列的に記述される。ステップを記述する際に用いるシンボルのリストは，Fig.2-1-4 に示すとおりである。車両の挙動，運転者の行動をあらわすのは四角のシンボルである。運転者の認知，判断および心身状態は角取りした四角で記述される。運転者に影響を及ぼした道路環境は縦線を加えた四角を用いて中央に記述し，該当するシンボルに矢印で結ぶ。分析を進める上で疑問のある項目は疑問符のついた四角に記述して示す。

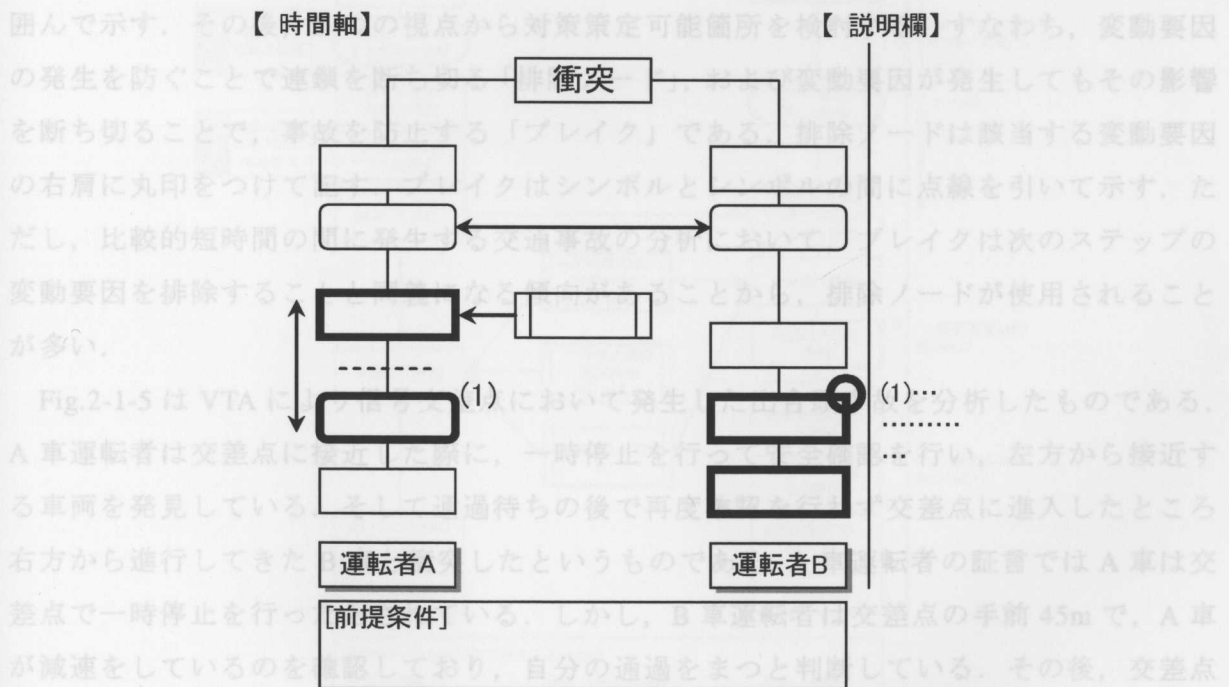


Fig.2-1-3 交通事故の人的要因分析における VTA 基本形

Fig.2-1-5 は VTA に基づいて発生した交通事故の分析結果を示している。A 車運転者は交差点に進入する際に，一時停止を行っている。一方，左方から接近する車両を発見している。その後，通過待ちの後で再度交差点に進入したところ右方から進行してきた B 車と衝突したというもので，運転者の証言では A 車は交差点で一時停止を行っていた。しかし，B 車運転者は交差点の手前 45m で，A 車が減速をしているのを確認しており，自分の通過をまっとうしている。その後，交差点手前 18m において衝突した。この区間の長さについては若干のズレがあるとは考えられるが，時速 45 キロで走行する B 車がこの区間を進行するための時間は 2 秒程度である。B 車運転者が 45m 手前で A 車の減速を認知した

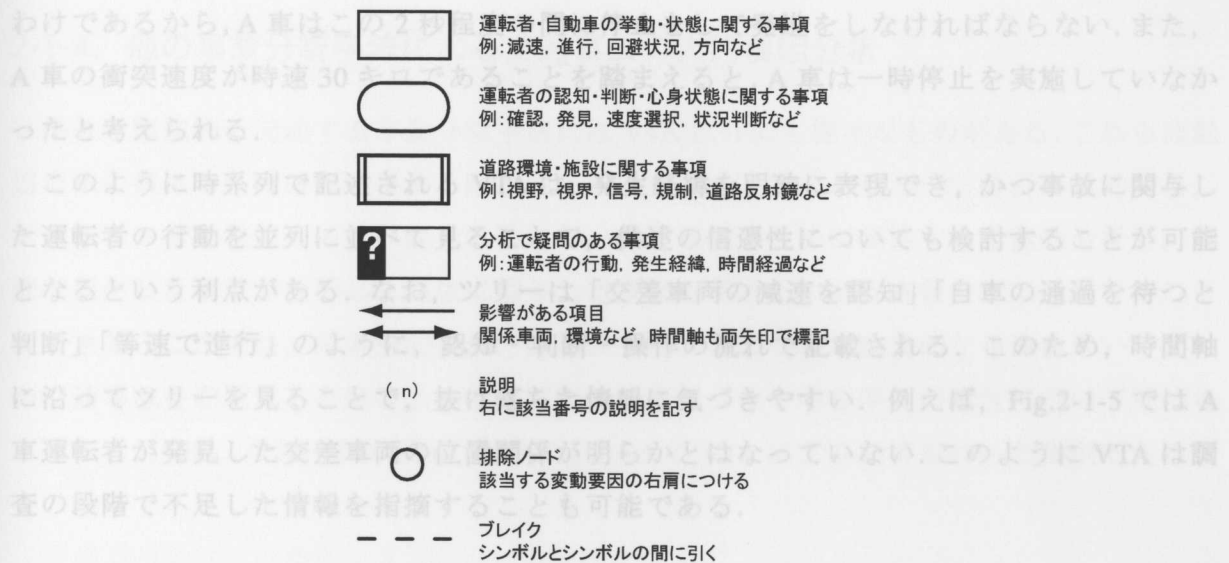


Fig.2-1-4 利用するシンボル

欄外は、時間軸、説明欄、前提条件欄で構成される。ツリー一部の左側は時間軸であり、経過時間を示す場合に両矢印を用いて記述する。右側の余白は説明欄であり、変動要因の補足説明が記される。ツリーの下部は前提条件欄であり、年齢、性別、経験等の運転者属性、車種等の車両条件、道路環境、天候、時刻等の環境条件が記述される。

以上の手続きで、事故発生経緯をできる限り詳細に再現した上で、通常から逸脱した変動要因となるシンボルを特定する。通常のシンボルと区別をするために変動要因は太線で囲んで示す。その後、2つの視点から対策策定可能箇所を検討する。すなわち、変動要因の発生を防ぐことで連鎖を断ち切る「排除ノード」、および変動要因が発生してもその影響を断ち切ることで、事故を防止する「ブレイク」である。排除ノードは該当する変動要因の右肩に丸印をつけて記す。ブレイクはシンボルとシンボルの間に点線を引いて示す。ただし、比較的短時間の間に発生する交通事故の分析において、ブレイクは次のステップの変動要因を排除することと同義になる傾向があることから、排除ノードが使用されることが多い。

Fig.2-1-5 は VTA により信号交差点において発生した出合頭事故を分析したものである。A 車運転者は交差点に接近した際に、一時停止を行って安全確認を行い、左方から接近する車両を発見している。そして通過待ちの後で再度確認を行わず交差点に進入したところ右方から進行してきた B 車と衝突したというものである。A 車運転者の証言では A 車は交差点で一時停止を行ったとされている。しかし、B 車運転者は交差点の手前 45m で、A 車が減速をしているのを確認しており、自分の通過をまつと判断している。その後、交差点手前 18m において A 車の交差点進入を認知し急ブレーキを行っている。交差点からの距離に関しては若干のズレがあるとは考えられるが、時速 45 キロで走行する B 車がこの区間を進行するための時間は 2 秒程度である。B 車運転者が 45m 手前で A 車の減速を認知した

わけであるから、A車はこの2秒程度の間に停止をして発進をしなければならない。また、A車の衝突速度が時速30キロであることを踏まえると、A車は一時停止を実施していなかったと考えられる。記述する事故分析手法にはVTA以外にも様々なものがある。これらは記述このように時系列で記述されるVTAは、発生経緯を明確に表現でき、かつ事故に関与した運転者の行動を並列に並べて見ることで、供述の信憑性についても検討することが可能となるという利点がある。なお、ツリーは「交差車両の減速を認知」「自車の通過を待つと判断」「等速で進行」のように、認知-判断-操作の流れで記載される。このため、時間軸に沿ってツリーを見ることで、抜け落ちた情報に気づきやすい。例えば、Fig.2-1-5ではA車運転者が発見した交差車両の位置関係が明らかとはなっていない。このようにVTAは調査の段階で不足した情報を指摘することも可能である。

1) 時系列的手法

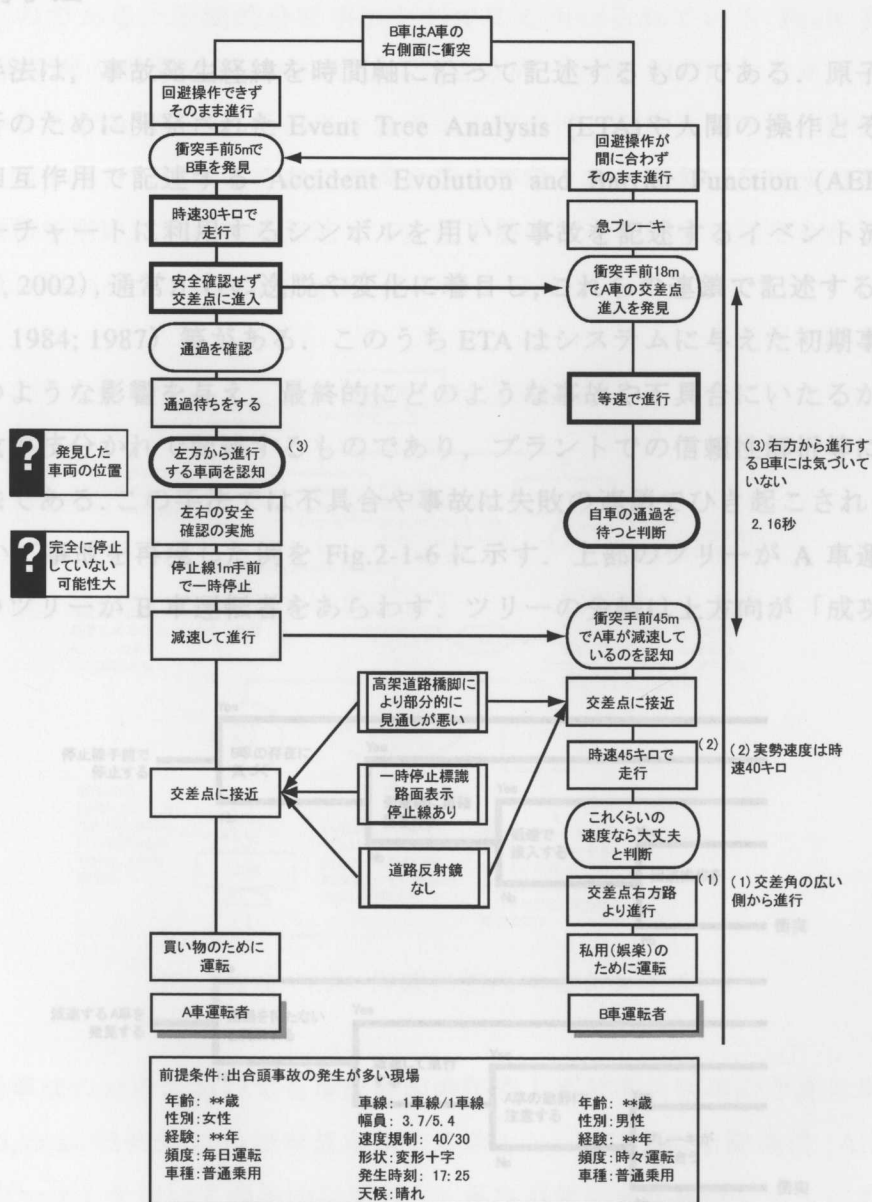


Fig.2-1-5 VTAによる交通事故の分析例

2-1-4. 他の事故分析手法による交通事故の人的要因分析

事故を図式的に記述する事故分析手法には VTA 以外にも様々なものがある。これらは記述方法の観点から時系列的手法と階層的手法に分類が可能である。また、分析の目的から、システムの信頼性をシステム設計段階において評価するために実施する予測的分析と、実際に発生した事故を分析し、発生に関与した要因を明らかにする事後分析に分類することができる。ここでは、時系列的手法、階層的手法双方について代表的な手法を用いて同一の交通事故を記述し、交通事故の人的要因分析を行う上での各手法の特性について述べる(神田ら, 1998)。なお、対象としたのは Fig.2-1-5 で VTA により分析を行った事例である。

1) 時系列的手法

時系列的手法は、事故発生経緯を時間軸に沿って記述するものである。原子力プラントの信頼性解析のために開発された Event Tree Analysis (ETA) や人間の操作とそれに伴う機械の反応の相互作用で記述する Accident Evolution and Barrier Function (AEB) (Svenson, 1991)、フローチャートに利用するシンボルを用いて事故を記述するイベント流れ図(青木, 1982; 松田ら, 2002)、通常からの逸脱や変化に着目し、これらの連鎖で記述する VTA (Leplat & Rasmussen, 1984; 1987) 等がある。このうち ETA はシステムに与えた初期事象が後工程で機械にどのような影響を与え、最終的にどのような事故や不具合にいたるかを各工程での成功と失敗の枝分かれで記述するものであり、プラントでの信頼性解析等に広く用いられている手法である。この手法では不具合や事故は失敗の連鎖で引き起こされると考える。

ETA を用いて事故を再現した例を Fig.2-1-6 に示す。上部のツリーが A 車運転者をあらわし、下部のツリーが B 車運転者をあらわす。ツリーの分岐は上方向が「成功」を、下方

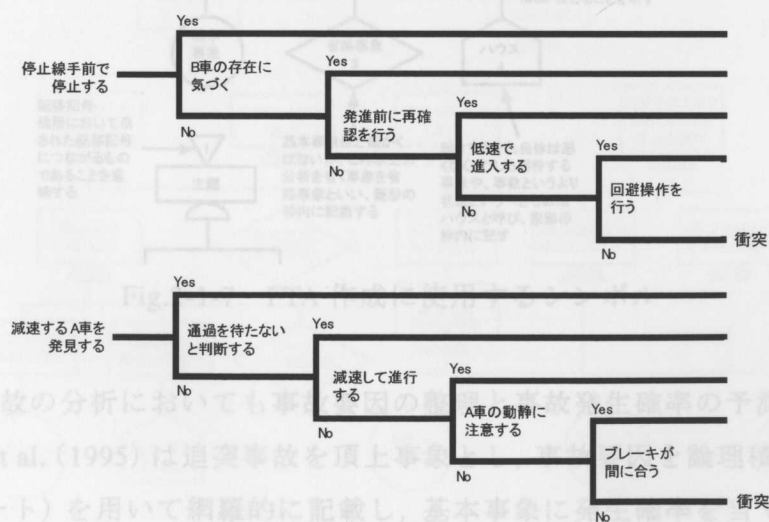


Fig.2-1-6 ETAによる分析例

向が「失敗」をあらわしている。ETA では失敗の連鎖が事故につながることから、「自車の通過を待つと判断」したことや「減速せず等速で進行した」ことが、「通過を待たないと判断」「減速して進行」に対する失敗として記載されている。このように行動や判断を裏返して記述する際には、分析者の「こうすべきであった」という主観が含まれやすく、この点において表現の工夫が必要となる。また、成功と失敗の排反事象でしか記述できないことから、「雨が降っている」というような、それ自体は良くも悪くもない要因はツリー内部に記述することができず、欄外利用の必要が生じる。

2) 階層的手法

階層的手法は、最終的に発生した事故からさかのぼり、発生原因をトップダウン的に追究していくものである。予測的分析手法として広く用いられている Fault Tree Analysis (FTA)や、品質管理の現場からうまれたなぜなぜ分析(小倉, 1997)などが用いられることが多い。このうち FTA は 1960 年代にシステムの安全性・信頼性を予測、評価するために開発されたものであり、望ましくない結果を頂上事象とし、事象が発生するための条件を論理積と論理和を用いて演繹的に記述して、最下層の初期事象まで同定を行う手法である(塩見, 1997)。用いるシンボルは Fig.2-1-7 の通りである。

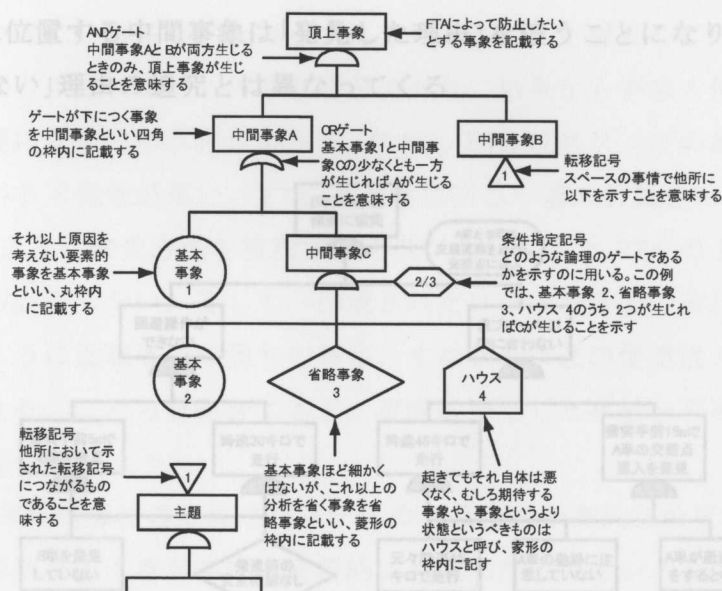


Fig.2-1-7 FTA 作成に使用するシンボル

FTA は交通事故の分析においても事故要因の整理と事故発生確率の予測に用いられている。Kuzminski, et al. (1995) は追突事故を頂上事象とし、事故要因を論理積 (AND ゲート)・論理和 (OR ゲート) を用いて網羅的に記載し、基本事象に発生確率を当てはめることで、事故発生に対する運転者や車両、環境要因の寄与の度合いを評価している。FTA は本来こ

のような予測的な分析に利用されるが、労働災害(井上, 1979)や交通事故(Joshua & Garber, 1992; 杉村, 1980; 1981)など、実際に発生した事故の分析に適用されることも多い。

FTAによる交通事故の分析例を Fig.2-1-8 に示す。この図では左半分が A 車運転者を、右半分が B 車運転者をあらわしている。FTA を用いて分析を行った場合、林(1988)が指摘するように、ツリー中に要因を記述した場合、論理関係が曖昧になる(pp.158-161)。例えば「時速 60 キロに加速」の下に AND ゲートで「交差側信号の黄への変化を確認」と「対面する信号青を確認」が結び付けられている場合、これら 2 つの条件が整っても必ず時速 60 キロに加速するわけではない。要因を記述する場合には予測的な分析を行う場合とは異なり、AND ゲートの下には上位の事象が発生した理由が記述されることになる。また要素分解の結果、下位の事象が明確に各上位事象に分割して結びつけられず、複数の上位事象につながることが多い。これは交通事故が比較的短時間に発生することと、特定個人の一連の行動を要素分解していることが考えられる。このためそれぞれの要素に別々の理由があるとは考えがたく、結果として下位事象の明確な分類が困難となる。また FTA 作成上の問題点としては、中間事象の設定の難しさがある。中間事象には個人差が現れやすく、これによって最終的な結果も異なりやすい(井上, 1979)。Fig.2-1-8 では「A 車は B 車の側面に衝突」の下に AND ゲートで「急ブレーキが間に合わない」と「回避操作ができない」を位置づけているが、「衝突手前 5m で B 車を発見」および「衝突手前 18m で A 車の交差点進入を発見」と規定しても間違いではない。しかしこれらを中間事象として設定することで、この下に位置する中間事象は「発見した理由」を追うことになり、これまでの「回避操作が間に合わない」理由の追究とは異なってくる。

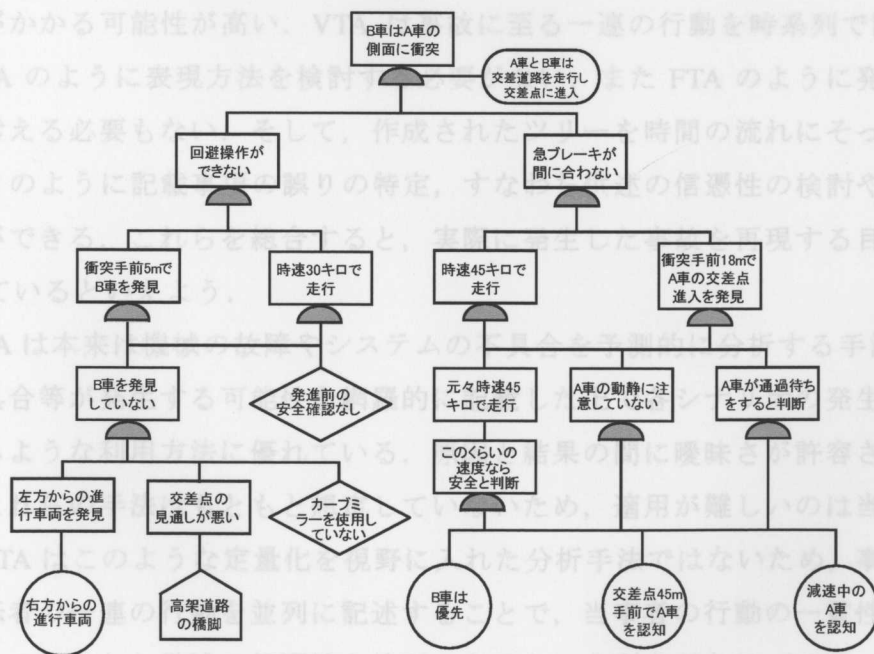


Fig.2-1-8 FTAによる分析例

3) VTA による交通事故の人的要因分析の利点

事故分析を行う場合、最初から全ての情報が既知であるわけではなく、分析を行いながら不足した情報を補うことになる。しかし階層的な手法を用いて交通事故の人的要因分析を行う場合、結果の記載が難しい。Fig-2-1-8 の FTA を用いて説明を行ったが、上層の事象が発生した理由を記述する際に、多様な表現の方法が可能である。またプラントのように多くの人間が関与し、比較的長期にわたる事象を記述する場合とは異なり、交通事故の分析が、特定個人の短時間の一連の行動を対象としており、判断や行動に個別の理由があるとは考えにくく、結果的に下層で同じ要因に収束する傾向がある。これらは抜け落ちた情報が存在した場合に、その発見を難しくする。また Fischhoff, et al. (1978) は階層的な手法では構造的に不足する情報への気づきが困難であることを実証している。この実験で被験者に求められたのは、車が発進できない原因をあらわすフォールトツリーから各原因が発生する確率を見積もり、合計が 100 になるように配分することであった。ツリーには実際に該当数が多い原因が並べられ、それ以外の項目は一括して「その他の問題」と記載されている。操作を行ったのは、一部の原因の除去である。一部の原因が除去された場合、「その他の問題」の見積もりの割合が増加しなければならないが、被験者が学生、専門家であるに関わらず、一部の原因を除去した場合の「その他の問題」の割合の増加の程度が少なかった。これらを踏まえ、渡辺 (1998) は同種の研究にて FTA のような階層的な手法を用いて分析した後に、時系列的な視点で再分析することを奨励している。

一方、時系列的な手法は比較的作成が容易であり、結果から事故の経緯や双方の運転者の相互関係が明確になるという利点がある。ただし ETA はステップの記述の段階で分析者のバイアスがかかる可能性が高い。VTA は事故に至る一連の行動を時系列で記述するが、この際に ETA のように表現方法を検討する必要がない。また FTA のように発生事象間の論理構造を考える必要もない。そして、作成されたツリーを時間の流れにそって見ることで、Fig.2-1-5 のように記載事項の誤りの特定、すなわち供述の信憑性の検討や、不足した情報の指摘ができる。これらを総合すると、実際に発生した事故を再現する目的の上では VTA が優れているといえよう。

FTA や ETA は本来は機械の故障やシステムの不具合を予測的に分析する手法であり、想定された不具合等が発生する可能性を網羅的に記載した上で各シナリオの発生確率を定量的に評価するような利用方法に優れている。原因と結果の間に曖昧さが許容される人間行動の分析をこれらの手法はもともと想定していないため、適用が難しいのは当然であるともいえる。VTA はこのような定量化を視野に入れた分析手法ではないため、事故に関与した複数の運転者の一連の行動を並列に記述することで、当事者の行動の一貫性、他の運転者との整合性の観点から供述の信憑性を検討できるという利点がある (石田, 1999; Ishida & Kanda, 1999) が、結果の一般化の点で FTA や ETA と比べて劣っているといえる。本論

文では実際に発生した事故の事例分析を行うことから、VTAの利点は直接的に有効性につながるが、結果を集約して一般化する上では問題が残る。3章および4章では実際に事例分析を行うが、このような問題を解決するため、VTAの結果を集約する方法の開発、適用を試みる。

3章

3.2. 出合頭事故の人的要因分析による

3.2.1. 非優先側運転者の交差点進入行動の検討