

事故の人的要因分析における 分析結果の信頼性向上に関する検討

神田 直弥

This study refers to the importance of the fact that the results of accident analyses differ depending on those who conduct them. Six persons analyzed same traffic accidents independently in terms of human factors by using Variation Tree Analysis (VTA). This method illustrates the progress of the accident in detail, and especially concentrates on changes and deviations from normal situations or appropriated behavior. Results were compared to normative analysis performed by the author. The percent correct of the analyses of identical cases were relatively good. However, the number of symbols used to describe the accident causation tended to be small. Typically, they omitted some information that can be understood if we saw the flow of the symbols. It was argued that the investigation of the analysis result by the persons concerned helps for the future improvement of the the analysis method and safety of the work environment.

1. はじめに

安全で安心できる社会の形成は、我々にとって共通の目標である。現在、安心・安全を脅かす要因として、犯罪・テロ、事故、災害、サイバー空間の問題、健康問題、食品問題等の問題が指摘されている¹⁾。そして、この中で交通事故や医療事故をはじめとする事故の防止は、1つの重点項目となっている²⁾。

近年では、鉄道事故や航空機のトラブル等、事故に関連する報道が数多く行われている。また、交通事故では死者数が減少した反面、発生件数は増加傾向にある。医療事故による死者数は1万人以上にのぼるという推定もある³⁾。

事故の発生には、見落としや、実施間違いなどのヒューマンエラーが関与していることが多い。事故に対するこのような人的要因の寄与の割合は80～90%

に達するという共通認識が得られている⁵³。ただし、我々は事故を起こすために活動をしているわけではない。事故は単一の原因から発生するのではなく、複数の要因が連鎖的に作用した結果として発生することに留意する必要がある。これを事象のチェーン⁵⁴と言う。道路反射鏡が傾いており利用できない交差点における事故を例に考えてみよう。交差点内に進入してから確認をしようとした運転者が、進入直後に交差車両と衝突したとする。この場合、道路反射鏡を正しく設置しなければ同様の行動が生起する。また、道路反射鏡が傾いたまま放置されていたという管理レベルの問題に対処しなければ、他の地点でも同様の状況や行動が発生しうる。人間行動に影響をおよぼす要因は多数存在している。事故防止を図る上ではこれらの要因を特定し、適切な対策を講じることが求められる。

ただし、ヒューマンエラーと種々の要因の関連を探る人的要因分析を行う場合、分析者のバイアスが影響する。我々は当事者の行動が同一であっても、被害に応じて当事者への責任追及の度合いを変化させてしまう⁵⁵。軽微な事故や、事故にいたらないヒヤリハットでは、問題を技術的な側面に帰結する傾向もある⁵⁶。また、人的要因分析を行う場合には、情報を当事者や関係者の供述に頼ることが多く、分析結果の信頼性の問題も生じる。

事故分析は統計的な分析と事例分析に大別される。統計的な分析では、数値データやカテゴリカルデータが用いられるため、上述の問題の影響は小さい。しかし、個別の事故を詳細に分析する事例分析では分析者の主観が反映されやすく、特に原因と結果の関係に曖昧さが許容される人的要因分析を行う際には顕著となる。

事例分析においてこれらの偏りを軽減するためには、はじめから要因を検討するのではなく、まず事故発生経緯を明確にすることが重要であると考えられる。また、発生経緯を明らかにする中で供述の信憑性を検討することも求められる。通常、事故報告書では、発生経緯は文章で記述される。しかし文章の場合、記述内容は書き手に委ねられる。また、発生経緯のわかりやすさは文章構成や表現方法等のスキルに依存する。全体像がわかりづらい場合には、情報の抜け落ちや証言の齟齬を見落としやすくなる⁵⁷。このため発生経緯の記述には、事故の全体像を図式的に示す事故分析手法の適用が望まれる⁵⁸。

ただし、事故分析手法を適用しても分析者のバイアスの問題は残る。実際に発生した事故の発生経緯を記述する以上、誰が分析をしても同じ結果になること、すなわち実証的記述性の高さが望まれる。同一事例を複数の分析者で独立に分析し、満足できる一致度が得られたことを示した研究⁹⁾もあるが、分析者によって結果が異なりやすいことも指摘されている¹⁰⁾。現在、医療分野をはじめとして事故分析が広く実施されているが、分析に不慣れな現場での実施を考えた場合、この差は大きくなると考えられる。事故分析手法を有効に活用するためには、手法の理解や分析への習熟もさることながら、手法を利用していく上での注意点やポイントが提供されていることが望ましい。

本論文では、近年広く利用されるようになってきているバリエーションツリー分析法 (Variation Tree Analysis ; VTA) を取り上げる。まず、VTAの概要を示し、他の手法と比較した上でその特徴を示す。その後、VTAの利用経験がない複数の対象者に同一事例の分析を求める。この際の一致率、相違点について調べることで、VTAの持つ特性や運用上の指針を示すことを目的とする。なお、分析対象とする事例は、我々にとって最も身近な事故の1つである道路交通事故を用いた。

2. 事故分析手法を用いた事故の再構築

2-1. VTA

VTAは認知科学分野で提案された定性的な事故分析手法である¹¹⁾。事故発生に関与した複数の要因の特定と、対策の検討に用いられる。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」に着目する。つまり、事故が発生した場合にはいつもとは異なる状況が存在するはずであり、これらが事故発生に関与したと考える¹²⁾。なお「変化」は、通常とは異なる行動や、判断、作業工程、物理環境等を指し、総称して変動要因と呼ぶ。

VTAは事故に関連した個人やチーム、機器ごとに変動要因を発生順に整理して並べ、ツリー状に表したものである。変動要因として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。VTAを用いた対策の検討は、事故にいたる流れを止めるという観点から行われる。このために2つの視点が提

案されている⁹⁾。1つは変動要因を取り除くことで、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行動の根拠となるものの変更、改善を意味する。もう1つの考え方は変動要因と変動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、改善をさす。前者を排除ノード、後者をブレイクと呼ぶ。

VTAは当初概念のみが提案されていたが、その後、黒田¹⁰⁾により改定が行われている。この際には、事故分析の専門家ではなく現場での利用を前提に、事故事象をわかりやすく伝えることを重視した。その結果、ツリー中には変動要因だけでなく、正常な状態・作業・判断・行動等も含めて記述することとなった。現在ではVTAは多くの分野で利用されており、適用に際し様々な改定が行われ、建設業の労働災害分析¹¹⁾や、鉄道¹²⁾、航空機事故¹³⁾、電力業¹⁴⁾などで利用されている。

VTAは交通事故の人的要因分析にも適用されている¹⁵⁾。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。しかし抜け落ちが生じる可能性があることから、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。

図1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、事故にいたる一連の認知、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、図2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。運転者に影響をおよ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んで示される。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。

欄外は前提条件欄、説明欄、時間軸で構成される。ツリーの下部は前提条件欄であり、運転者属性や、車両属性、環境特性が記述される。ツリー部の右側は説明欄であり、補足説明が記される。左側は時間軸であり、時刻や経過時間

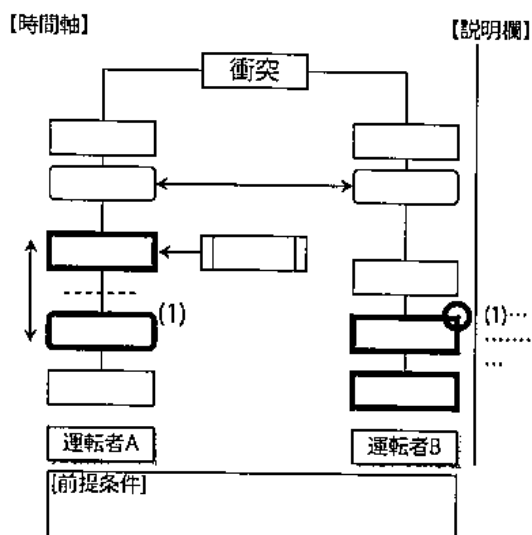


図1 交通事故の人的要因分析におけるVTA基本形

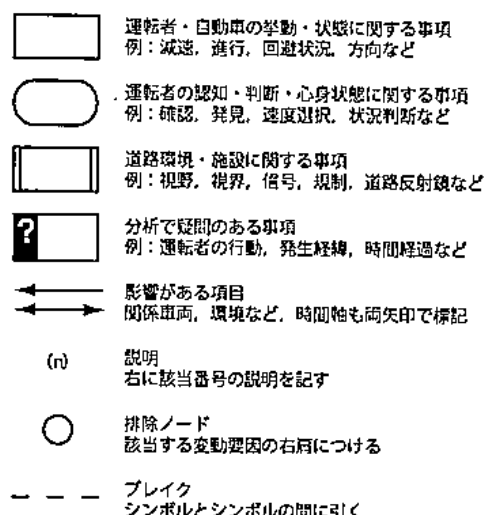


図2 VTA作成に利用するシンボル

を記す。

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、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するために変動要因は太線で囲んで示す。しかし、道路交通では変動要因を特定する上で基準となる通常の運転行動の規定が困難である。このため、安全な運転行動からの逸脱を変動要因としている⁸⁾。その後で排除ノードとブレイク箇所を検討する。ただし、道路交通事故の場合、個別の事故の対策が実際の対策に直結しにくいいため、変動要因の連鎖の類似性の観点から運転行動の類型化を行い、各パターンについて対策を検討するという方法も提案されている⁹⁾。

図3は無信号交差点において発生した出合頭事故をVTAにより記述したものである。この事故は、左方から接近する車両の通過待ち後に発進したA車が右方より進行してきたB車と衝突したものである。A車運転者は交差点で一時停止を行ったと証言している。しかし、B車運転者は交差点の手前45mでA車が減速しているのを確認しており、自車の通過を待つと判断している。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。距離については若干の誤差があると考えられるが、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所要時間は2秒程度である（速度は衝突形状から割り出すことができるため比較的信頼性が高い）。B車運転者は減速中のA車を認知していることから、A車は2秒程度の間に一時停止、発進を行わなければ

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。

時系列で記述をするVTAは、発生経緯を明確に表現できる。事故に関与した運転者の行動が並列に記述されるため、供述の信憑性の検討ができるという利点もある。また、各運転者の事故にいたる一連の流れを認知—判断—操作の流れで追うことで、不足した情報を指摘することもできる。図3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になっていないことがわかる。

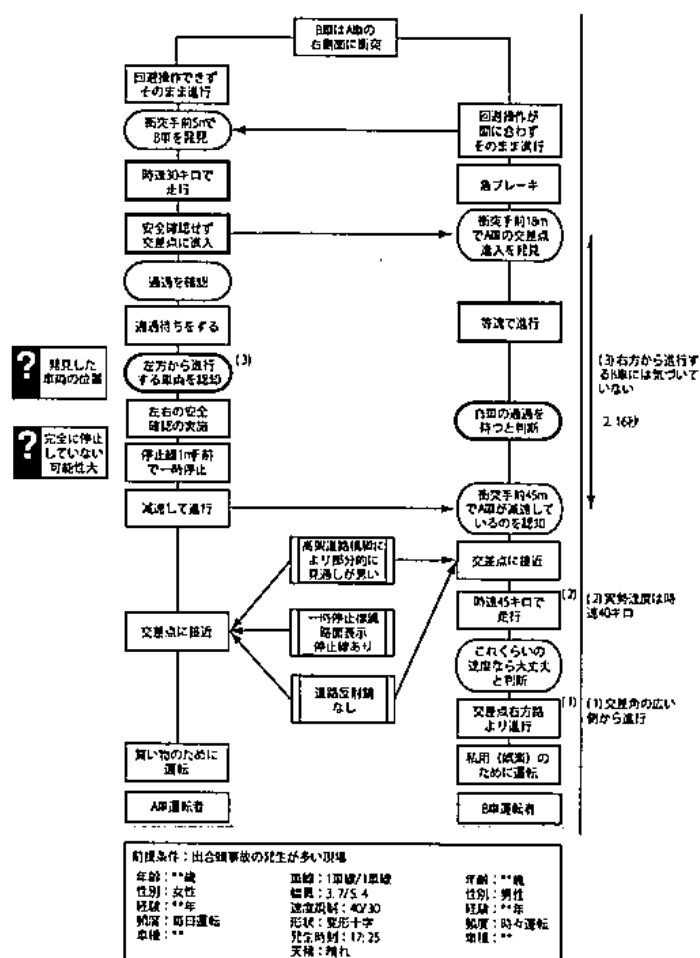


図3 VTAによる交通事故の分析例

2-2. 他の事故分析手法

事故を図式的に記述する事故分析手法には様々なものがある。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できる。また、分析の目的から、実際に発生した事故を分析する事後分析と、設計段階において発生しうるトラブルを評価する予測的分析に分類できる。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事故を記述し、人的要因分析を行う上での特性を検討する。分析対象は図3の事例とした。

1) 時系列的手法

時系列的手法は、時間軸に沿って事故発生経緯を記述するものである。原子カプラントの信頼性解析手法として開発されたEvent Tree Analysis (ETA) や人間の操作と機械の反応の相互作用で記述をするAccident Evolution and Barrier

Function (AEB)⁹⁸、通常からの逸脱や変化に着目し、これらの連鎖で記述をするVTA等がある。このうちETAはシステムに与えた初期事象が後の工程でどのような影響を与え、最終的にどのような結果にいたるかを各工程での成功と失敗の分岐で記述するものである。この手法では事故は失敗の連鎖で引き起こされると考える。

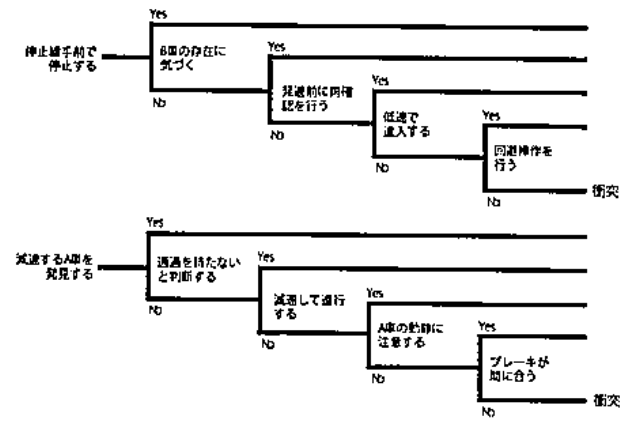


図4 ETAによる分析例

ETAを用いて事故を再現した例を図4に示す。上部のツリーがA車運転者を、下部のツリーがB車運転者をあらわしている。ツリーの分岐は上方向が「成功」を、下方向が「失敗」をあらわす。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」したことが、「通過を待たないと判断」したことに対する失敗として記述されている。このように判断や行動を裏返して記述する際には、分析者の主観が含まれやすい。また、「雨が降っている」というような、良くも悪くもない要因はツリー内部に記述できないという問題がある。

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方法である。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⁹⁹等がある。FTAはシステムの安全性・信頼性を評価するために開発された手法であり、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記述して、最下層の初期事象まで同定を行う¹⁰⁰。用いるシンボルは図5の通りである。なお、FTAは労働災害¹⁰¹や交通事故¹⁰²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による分析例を図6に示す。この図では左半分がA車運転者を、右半分がB車運転者をあらわす。FTAにおいて人的要因を事後的に取り扱う場合、論理関係が曖昧になる¹⁰³。図6では、「B車を発見していない」の下にANDゲートで「左方からの進行車両を発見」「交差点の見

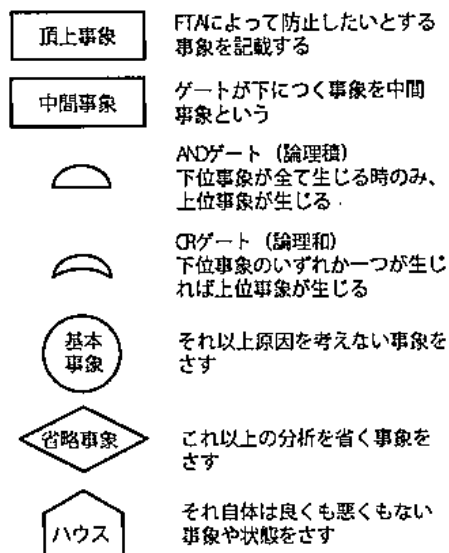


図5 FTA作成に使用するシンボル

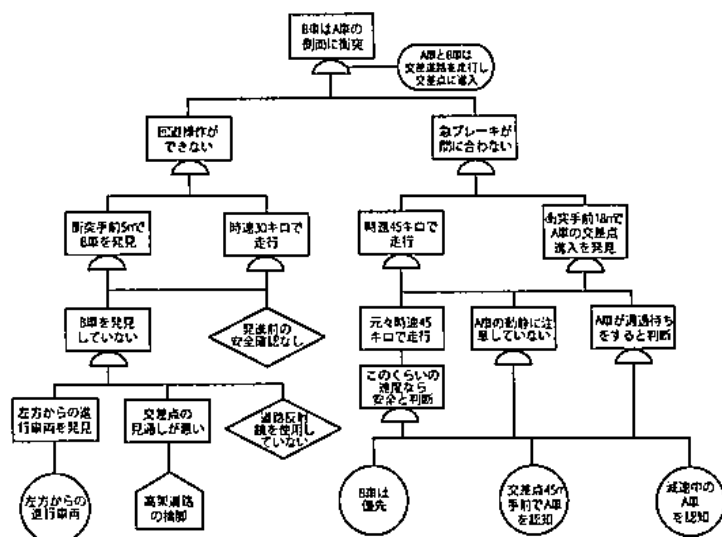


図6 FTAによる分析例

通しが悪い」「道路反射鏡を使用していない」が結びつけられている。しかしこれら3つの条件が整っても必ずB車を発見できないわけではない。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。これにより「一時停止を行う」といった、どの事象の理由にもならない行動は記述できないという記法上の制約も生じる。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、これによって結果も異なりやすい²⁰⁾。

2-3. VTAによる人的要因分析の特徴

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では事故が発生した理由という観点からの追及を行うため、事故にいたる一連の判断や行動の全体像を記述しきれないという状況が発生する。また階層的な手法は抜け落ちた情報への気づきが構造的に困難であることが実証されている²⁰⁾。

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はステップを記述する際に分析者のバイアスが影響する可能性がある。VTAは事故にいたる一連の行動を時系列で記述するが、この際にETAのような表現の工夫は必要

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沿って見ることで、図3のように記載事項の誤りの推定、すなわち供述の信憑性の検討や、不足情報の指摘ができる。これらを総合すると、事例分析において実際に発生した事故を再現する目的の上ではVTAが比較的簡便で優れた手法であるといえよう。

FTAやETAは本来、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述した上で、各シナリオの発生確率を定量的に評価するために用いられる。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、事例分析結果が蓄積した後での結果の活用方法に関しては工夫が必要になってくると考えられる。

3. VTAの実証的記述性の検討

企業の安全管理や品質管理のように、現場での取り組みの中でVTAが利用される場合、担当者は人的要因分析の専門家ではないと考えられる。専門家が行った分析でも結果が一致しないことから、専門家ではない場合には、差異が大きくなることが予想される。この差異が事故要因を特定する上でさほど重要な意味を持たないのであれば、厳密な作成ルールを作ることは手法の汎用性の観点から避けた方がよい。ただし、無視できない程に大きければ、作成上の指針を示すことが求められる。そこで、事故分析経験のない被験者を対象に、同一事例の分析を求め、結果の一致度や相違点を調べた。

3-1. 方法

心理系の学部に所属する大学生7名（男性3名、女性4名、18～20歳）の協力を得た。心理系の授業を受講しており、人間の心理特性や行動特性に関する知識をある程度有していると考えられるが、いずれも事故分析の経験はない。分析対象は交通事故2事例とした。交通事故は身近な事故の1つであり、他の業種の事故とは異なり、業務に関する知識がなくとも内容を理解することができるためである。各事例とも、事故概要に関する文章、運転者属性等に関する

カテゴリデータ、速度等に関する数値データ、概要図が事故概要表として1枚のシートにまとめられている。分析協力者へはVTAの作成要領と事故概要表を渡し、2週間以内に分析をするように依頼した。作成要領は、VTAの考え方と作成方法（5ページ）、分析例2事例（4ページ）より構成されている。なお、排除ノード、ブレイク箇所の特定には、対策に関する知識が必要になることから、今回は変動要因の特定までを求めた。

分析対象の2事例について、概要および事前に行った著者による分析結果を示す。事例1は、見通しの悪い交差点で発生した出合頭事故である。A車運転者は一時停止義務のある交差点に進入する際、左右を確認したが交差車両のないことを確認した。その後、そのままの速度で進入したところ、右方より進行してきたB車と衝突した。B車運転者は自転車走行道路が優先と判断しており、安全確認の必要なしと判断し、等速で交差点に進入していた。図7がこの事故をVTAを用いて分析した結果である。A車運転者の変動要因は、一時停止規制のある交差点への接近中に、走行しながら「右方を道路反射鏡で確認」し、「左方を目視確認」したこと、「交差車両なしと判断」したこと、低速走行中であり「このまま進行しても大丈夫と判断」し、「等速で交差点に進入」したことである。一方、B車運転者の変動要因は、「優先なので安全確認の必要なしと判断」し、「等速で進行」して、「安全確認せず交差点に進入」したことである。

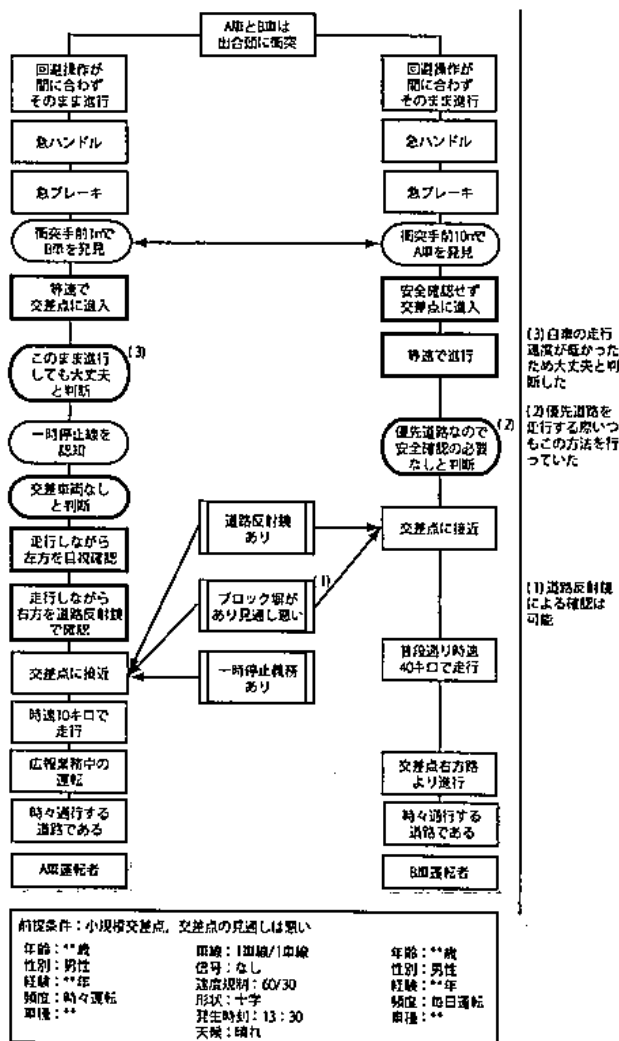


図7 事例1 事前分析結果

安全確認の必要なしと判断し、等速で交差点に進入していた。図7がこの事故をVTAを用いて分析した結果である。A車運転者の変動要因は、一時停止規制のある交差点への接近中に、走行しながら「右方を道路反射鏡で確認」し、「左方を目視確認」したこと、「交差車両なしと判断」したこと、低速走行中であり「このまま進行しても大丈夫と判断」し、「等速で交差点に進入」したことである。一方、B車運転者の変動要因は、「優先なので安全確認の必要なしと判断」し、「等速で進行」して、「安全確認せず交差点に進入」したことである。

事例2は大規模交差点にて発生した右直事故である。A車運転者は右折レーンの先頭車として対向車の途

切れを待っていたが、黄色信号への変化を認知した際に対向車線の確認なく右折を開始し、黄色信号で交差点に進入してきたB車と衝突した。B車運転者は時速60キロで走行しており、交差点に接近した際、約50m手前でA車を発見していたが、A車は発進しないと判断し等速で交差点に進入していた。図8がVTAによる分析結果である。A車運転者の変動要因は、黄信号を認知した際に「対向車が停止すると判断」し、「安全確認せず交差点に進入」したこと、その上で「時速15キロで走行」し、「早回り右折」をしたことである。B車運転者に関しては、信号が黄色になった時点で、事前に発見した「A車が発進しないと判断」し、「等速で交差点に進入」したことが変動要因となる。

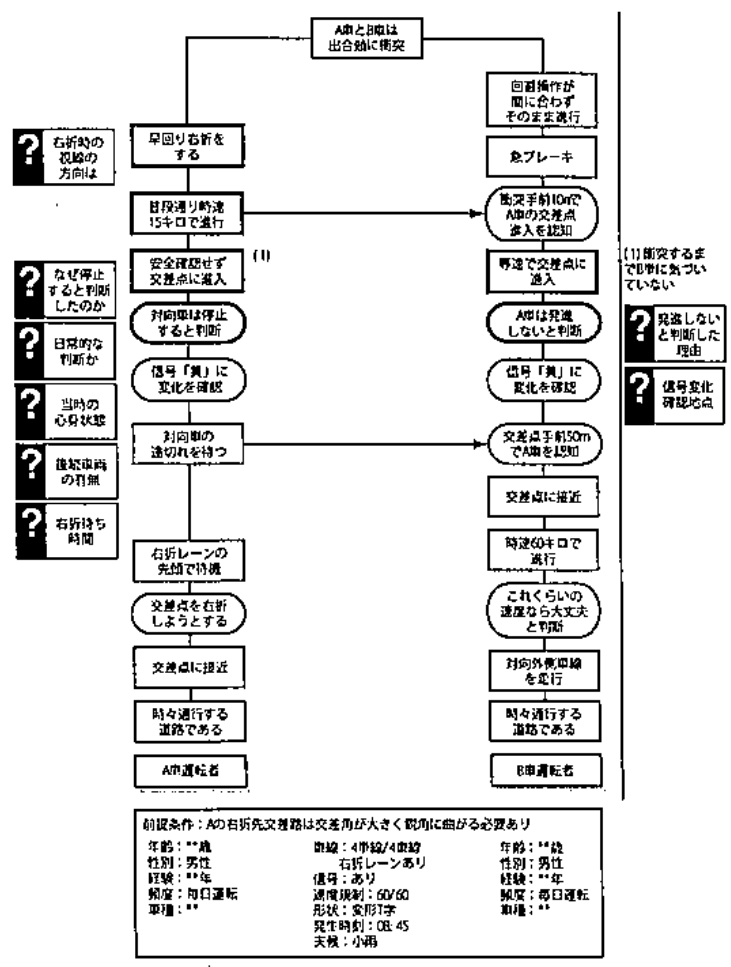


図8 事例2 事前分析結果

3-2. 結果

合計で12件（各事例6件）の分析結果を得た。分析結果の一致度を調べるため、Svenson¹⁰⁾と同様の方法を採用した。これは、著者による事前の分析結果（以下、事前分析とする）を基準として、どの程度一致しているかを調べるものである。表1、表2は運転者の軸ごとにツリー一部のシンボル数と変動要因数の平均値、標準偏差を求めたものである。Pcorr (Percent Correct) は、記載されていたシンボル、変動要因について事前分析との一致率を算出したものである。Pcorr値を見ると、シンボルについては最も低い値でも0.85であった。変動要因

表1 シンボル数の平均値、事前分析との差、一致率

		平均	標準偏差	事前分析との差	Pcorr
事例1	A車運転者	10.83	2.71	-3.17	0.91
	B車運転者	9.50	1.22	-1.50	0.93
事例2	A車運転者	6.67	1.51	-3.33	0.90
	B車運転者	9.00	1.41	-3.00	0.85

表2 変動要因数の平均値、事前分析との差、一致率

		平均	標準偏差	事前分析との差	Pcorr
事例1	A車運転者	3.00	0.89	-2.00	0.94
	B車運転者	3.17	0.98	0.17	0.74
	全体	6.17	1.72	-1.83	0.84
事例2	A車運転者	2.33	0.52	-1.67	1.00
	B車運転者	1.83	0.41	-0.17	0.91
	全体	4.17	0.75	-1.83	0.96

は事例1のB車運転者が0.74と若干低く、事例1、2ともにB車運転者の方が低い値であるが、全体を見ると事例1は0.84、事例2では0.96と良好な値を示していた。

ただし、事前分析との差を見るとシンボル数、変動要因数ともにほぼ負の値を示していた。つまり、記載された項目に限定すれば一致率はシンボル、変動要因ともに概ね高いが、いずれも記載されていない項目があることになる。変動要因の事前分析との相違は合計28件であった。20件はツリー中に記載されたシンボルにおける相違であったが、残りの8件はシンボルとして記述されておらず、結果的に変動要因となっていなかった。

一方、シンボルの相違は全体で96件であり、77件が事前分析で見られたシンボルが記述されていないというものであった。11件は事前分析にはないシンボルが記述されており、8件はシンボル数には違いはないものの記述内容が異なっていた。ただし、シンボル数の減少といっても記述内容が省略されている場合や、欄外に記述されている場合があった。また、相違点のある情報の内容や、相違の生じた理由も様々であった。そこで、シンボルの相違についてこれら3つの観点より分類を行った。まず、表現上の相違について調べた。表現の相違は10種類のカテゴリの想定が可能である。以下に、カテゴリごとに事前分析と比較した相違点を示す。

- ・シンボルの省略：記述されていたシンボルの省略

- ・ シンボルの追加：記述されていないシンボルの追加
- ・ シンボルの合体：複数のシンボルであった情報が単独のシンボルで記述
- ・ シンボルの分割：単一のシンボルであった情報が複数のシンボルで記述
- ・ シンボルの逆転：シンボルの並び順が異なっている
- ・ 記述の省略：シンボル内の記述内容に省略がある
- ・ 記述の追加：シンボル内の記述内容が追加されている
- ・ 欄外への移動：シンボルとして記述されていた情報が欄外に記述
- ・ 欄外からの移動：欄外に記述していた情報がシンボルとして記述
- ・ 誤り：記載内容の誤り

12件の分析結果の相違点を上記カテゴリに分類した結果、記述の追加と欄外からの移動に該当するものは1件も見られなかった。残りのカテゴリのうち、シンボルの省略、シンボルの合体、欄外への移動はシンボル数の減少に影響をおよぼしていた。シンボルの追加、シンボルの分割はシンボル数の増加に関連していた。シンボルの逆転、記述の省略、誤りはシンボル数の増減には影響しないが、内容の相違に関連があった(図9)。図9からはシンボルの省略が最も多く(54件)、次いでシンボルの合体(18件)、シンボルの追加(9件)が多いことがわかる。

次に、内容の観点から分類を行った。ツリー中にシンボルとして記述されている情報は以下の8種類に分類することが可能であった。

- ・ 認知：運転者の認知に関する項目
- ・ 判断：運転者の判断に関する項目
- ・ 行動：運転者の行動に関する項目
- ・ 未実施：実施していない行動や認知していない状態に関する項目
- ・ 意図：運転者の意図に関する項目
- ・ 状態：車両の状態や位置関係に関する項目

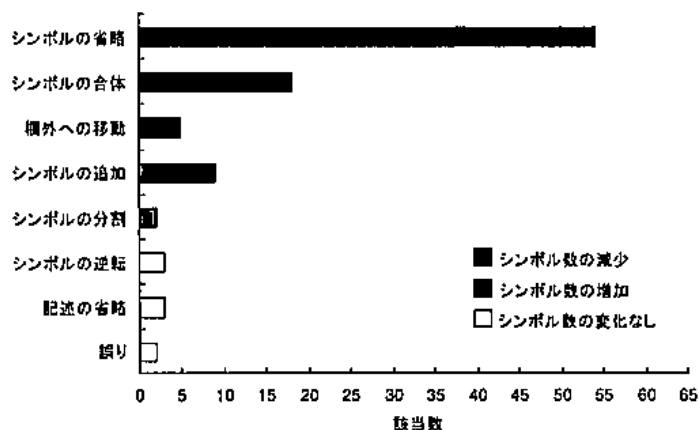


図9 分析結果の相違点(表現)

- ・状態の継続：車両の状態の継続や運転者の行動の継続に関する項目
- ・習慣：運転者の習慣に関する項目

各カテゴリとシンボル数の増減の関連を示したのが図10である。全体を見ると状態(27件)と状態の継続(18件)の該当数が多い。シンボルの増減別に見ると、状態と状態の継続、行動では減少が多かった。増加は未実施、判断、認知に関する情報に多く、内容の相違は状態、判断、認知のカテゴリに見られた。

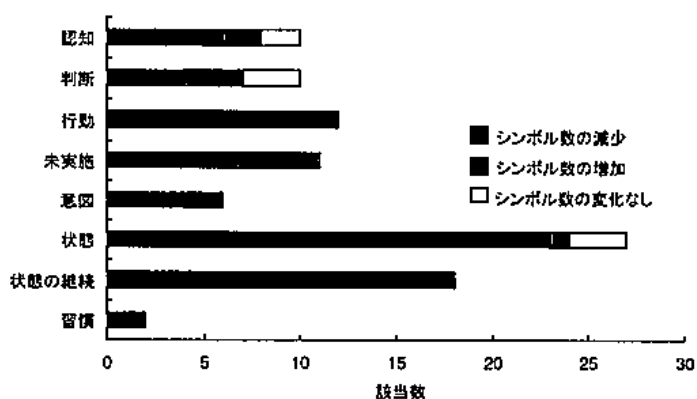


図10 分析結果の相違点 (内容)

三番目に、相違の生じた理由の観点から分類を行った。理由についてはあらかじめカテゴリを作成できないため、全ての相違について理由を記述した上で、ヒューリスティックにカテゴリを作成した。その結果6つのカテゴリとなった。

- ・ツリーへ記述する情報：ツリーに記述する情報や表現方法に関する考え方の相違
- ・ステップの最小単位：単一シンボル内に記述する情報量の考え方の相違
- ・分析開始地点：ツリーへ記述する情報の開始地点に関する考え方の相違
- ・ツリーと欄外：ツリー部と欄外の使い分けに関する考え方の相違
- ・報告書の曖昧さ：事故概要表の記述の曖昧さに関連する相違
- ・間違い：記述内容の誤りによる相違

カテゴリ別の該当数を図示したのが図11である。図11からはツリーへ記述する情報が66件と最も多く、このうち52件はシンボルの減少に影響していることがわかる。次に多いのがステップの最小単位であり16件

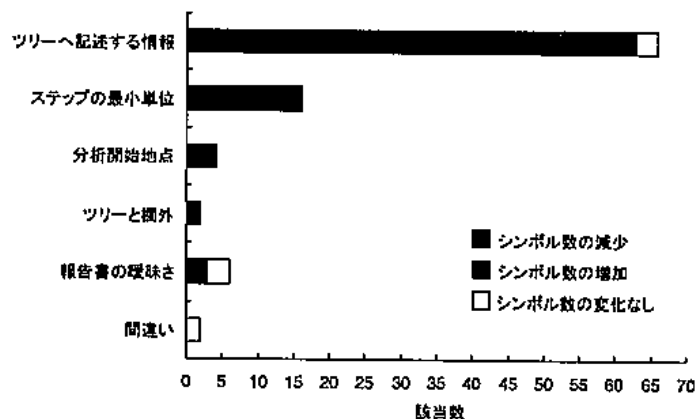


図11 分析結果の相違点 (理由)

が該当していた。

最後に、これら三種類のカテゴリの関連を調べた。表3にクロス集計を行った結果を示す。なお表中では該当数がゼロのカテゴリは除外している。値が5を越えるセルに着目すると以下の5つがあることがわかる。

- ・ ツリーへ記述する情報の相違による状態の継続の省略 (18件)

- ・ ツリーへ記述する情報の相違による状態の省略 (17件)
- ・ ステップの最小単位の相違による行動の合体 (8件)
- ・ ステップの最小単位の相違による意図の合体 (6件)
- ・ ツリーへ記述する情報の相違による未実施の省略 (5件)

なお、ツリーに記述されていない変動要因8件のうち、5件はツリーへ記述する情報の相違による未実施の省略であった。2件はステップの最小単位の相違による行動の合体、1件はツリーへ記述する情報の相違による行動の省略であった。

3-3. 考察

分析結果の比較により、記載されているシンボルと変動要因は共に許容できる一致率を示すことが確認された。一方、シンボル、変動要因の総数は全体的に少なかった。事前分析の結果が正しいということとはできず、相違点が誤りであるということとはできない。ただし、シンボル数が少なく、これに伴い変動要因数も減少していることを踏まえると、本来策定可能な一部の対策を導き出すことができないという問題が生じる可能性がある。ここでは変動要因の相違と、シンボルの相違点のうち該当数の多いカテゴリの組み合わせを中心に検討する。最後にこれらを踏まえてVTAの運用上の指針を示す。

表3 表現別相違点、内容別相違点、理由別相違点のクロス集計

		意図	行動	未実施	習慣	状態	状態の継続	認知	判断	合計
ツリーへ記述する内容	省略		3	5	2	17	18	3	2	50
	合体			1		1				2
	追加			3		1		2	3	9
	分割			2						2
	記述					3				3
ステップの最小単位	合体	6	8			2				16
分析開始地点	省略					4				4
ツリーと欄外	欄外								2	2
報告書の曖昧さ	欄外							3		3
	逆転								3	3
間違い	誤り							2		2
		6	11	11	2	28	18	10	10	96

*省略:シンボルの省略、合体:シンボルの合体、欄外:欄外への移動、追加:シンボルの追加、分割:シンボルの分割、逆転:シンボルの逆転、記述:記述の省略

1) 変動要因の相違について

変動要因の相違は、ツリー中に記載されたシンボルに関わるものと、シンボルとして記述されていないことに起因するものがあった。後者については、シンボル数の増減と密接なかかわりを持つため、他の項で検討する。

ツリー中に記載されたシンボルのうち、事前分析で変動要因となっていたものが変動要因となっていないのが14件あった。反対に変動要因となっていなかったものが、変動要因とされているのは6件であった。前者には事例1のA車運転者が走行しながら安全確認をしたことや、事例2のB車運転者が等速で交差点に進入したことが含まれていた。後者については、事例1のB車運転者が自車が優先であると認知をしたことや、制限速度が時速30キロの道路を40キロで走行したことが該当した。A車運転者の安全確認に関しては、一時停止規制のある交差点では本来、停止線にて停止後に安全確認をすることが求められていることから、事前分析では変動要因としていた。

変動要因の特定には、変動要因の定義が影響する。VTAでは通常からの逸脱を変動要因とする。しかし、道路交通では制限速度の超過が通常であるように、通常の運転行動を基準として変動要因を特定すると、きわめて数が少なくなる。このため、安全と考える運転行動からの逸脱を変動要因ととらえるが、安全な運転に関する分析者のメンタルモデルにはばらつきがあると考えられる。B車運転者の変動要因はA車運転者よりも一致率が低かったが、B車運転者は事例1、2とも優先権が認められており、安全な運転に対する分析者の考え方の相違が大きくあらわれた結果であると考えられる。安全な運転行動の定義ができれば一致率は増すと考えられる。しかし、運転行動は多様であり、定義を行うことは困難である。それゆえ、変動要因を特定する上での分析者の判断基準の統一は難しく、分析者が単独で特定をしても不十分な結果が導かれることが多くなると予想される。

2) ツリーへ記述する情報に関して

ツリーへ記述した情報は、シンボルが相違した理由の中で最も該当数の多いカテゴリであった。内容別、表現別相違点とのクロス集計を行った結果からは、状態の継続、状態、未実施の省略が多いことが確認された。状態の継続の省略

は、回避動作を行ったが回避できずにそのまま進行したこと（12件）や、右折のために右折レーンで停止後、対向車の途切れを待っていたこと（6件）が記述されていないというものであった。状態の省略は、右方路より進行するといった接近方向（8件）や、交差点へ接近をした（3件）という相対的な位置関係、交差点へ進入した時点での速度（3件）を示していないというものであった。未実施に関わる省略は安全確認の未実施（3件）、確認をしたが交差車両を認知していないこと（2件）を省くというものであった。

安全確認の未実施の省略については、事前に確認をしなくても大丈夫だと判断をしたことが記述されていた。そして、ツリーの流れを追うことで明示されていない安全不確認の状況を読み取ることができた。交差車両を発見しなかったことについても、ツリー中には安全確認後にそのまま進行したことが示されており、確認という行為の中に車両が発見されなかったことが暗黙のうちに含まれていると考えられた。衝突を回避できなかったことや、交差点へ接近したことも流れを見れば読み取ることが可能であった。

このカテゴリーの特徴は、流れを見ればわかる情報を省略したり、反対にシンボルを追加して明示的に示すというものであった。しかし、このような表記を分析者が意図的に実施しているかどうか判断できないものも多かった。それゆえ、このカテゴリーには意図的に記述をした表現上の問題と、ツリーへ記述する情報の理解に関連し意図せずに相違が生じたという問題が混在していると言える。

事故発生経緯を伝えることに主眼をおくのであれば、流れを追えばわかる情報が省略された場合でも問題とはならない。特に回避が間に合わないことや、交差点に接近したことは、発生経緯をわかりやすく伝えるための表現上の工夫であるといえ、省略することが望ましくない分析に結びつくわけではない。

ただし、発見していないことや行動を省略したこと等の運転者の情報処理に関する項目は変動要因となることが多い。事実、省略された未実施の行動や認知していない状態は、事前分析においていずれも変動要因となっていた。このため、多少の表現上の曖昧さは許容しつつも、運転者の一連の行為は詳細に記述することが望まれる。そのためには、ツリーへ記述する情報を整理することが必要であるといえる。

3) ステップの最小単位に関して

分析結果の相違が生じた理由のうち2番目に該当数が多いカテゴリは「ステップの最小単位」であり、行動（9件）と意図（6件）に関するシンボルの合体が該当した。意図の合体は、事例1のA車運転者が「交差点を右折しよう」として「右折レーンの先頭で待機」したことを「右折予定で右折レーンの先頭で待機」と単一のシンボルで記載するというものであった。行動については事例1のA車運転者の左右確認を単一のシンボルで記述する、交差点進入後の急ブレーキと急ハンドルによる回避行動をあわせて1つのシンボルに記述する等、連続的に行われた行動を単一のシンボル内に記載するものが見られた。その他に、事例2のA車運転者について、事前分析では「交差点に進入」したことから「早回り右折」をしたことを複数のシンボルに分割しているが、これらが単一のシンボルに記述されており、結果的に変動要因数が減少していたものが2件あった。

このカテゴリは厳密には誤りではないことが多い。事故の発生経緯を理解する上では、記述する情報の最小単位は問題にはならない。厳密には誤りではないことが多いという点では、「ツリーと欄外」のカテゴリ（2件）も同様である。しかし、シンボルが変動要因となる場合には話がかわってくる。欄外に記述されれば変動要因にはならない。またいずれも変動要因となる情報が単一のシンボルに記述された場合は、記載された複数の行動や事象の時間的な経過の間に実施できると考えられる対策の策定ができなくなる。例えば、交差点に進入したことから早回り右折をしたことを複数のシンボルに分割した場合、交差点に進入をしても右折を実施しないための対策が検討できる。これが単一のシンボルとなった場合、交差点に進入しないようにするための対策と右折をしないようにする対策が同義となる。

ただし、運転行動を記述する上での情報の最小単位の規定は難しい。上記の右折の部分に関して、「アクセルを踏む」「車両が交差点に進入する」「ハンドルを右に切る」「車両が右に転回する」のようなステップの刻み方も可能である。このような記述をしたものは今回の分析結果には見られず、あまり意味がないように思える。ただし、GPSや車々間通信による車両位置の特定を用いた車両技術による対策を想定する場合、対向車両の接近を検出し、交差点進入時に、

警報や自動ブレーキをかけることも考えられる。この場合には運転者の操作と車両の位置関係を詳細に示すことが有効となる。このため、記述の詳細さは想定される対策との兼ね合いで決定する必要がある。

4) その他

該当件数が少ないカテゴリについて以下に検討する。「分析開始地点」は状態に関する情報が省略されるというもので、具体的には事例2のA車運転者が交差点に接近したことが記述されていなかった。VTAに限らず時系列的な分析を行う場合、どの段階から書き始めるかという問題が生じる。この問題は階層的な分析手法にあてはめると、どの段階までさかのぼって分析をするかという問題になる。それ以上さかのぼった追求が困難となった時点や、それ以上の変動要因が発見できなくなった時点、現実的な対策が可能な範囲等が一般的な開始地点となる⁹⁾。しかし、これらの判断は主観的であり、分析の目的により定められるべきとされている。

また「報告書の曖昧さ」に関する相違も3件見られた。これは運転者が一時停止の存在をその時点で認知したのか、前もって知っていたのかがわかりづらい表現になっており、受け止め方により表現方法が変化したというものである。

もう1つのカテゴリは間違いであり、事故概要表に記載されている内容をVTAに誤って反映したものである。これ以外には誤った記述は見られなかった。

5) VTA作成上の指針について

分析結果における記述内容の誤りは少なく、一部の情報が省略される傾向が見られた。変動要因となる情報がシンボルとして記述されていないこともあった。今回の結果からは、VTAを作成する上では下記のような問題が生じることが示唆された。

- [1] 安全な運転行動に関する分析者のメンタルモデルの相違に伴う変動要因数の増減
- [2] ツリー内に記述すべき情報の理解が不十分であることによるシンボルの省略
- [3] 流れを見ればわかる情報の省略

[4] シンボル内に記述する情報の最小単位に関する問題

[5] その他（ツリーと欄外の使い分け、分析の開始地点、事故概要表の内容をVTAに反映する際の誤りに関する問題）

これらを軽減するための方法について検討する。[1]に関しては全ての分析者が変動要因としていない項目が見られないことから、複数の分析者が同一事例を分析し、結果を比較して過不足を補うことが考えられる。複数の分析者による分析の実施が困難な場合でも、変動要因を特定する段階で関係者によるディスカッションを行うことで、より精度の高い分析結果を導くことが可能になるといえる。

[2]と[3]に関しては、交通事故の場合では運転者の認知—判断—操作—その結果の状態の流れを基本とし、できる限り詳細な記述を行うこと、書かなくても明らかであると思われる情報も省略せずに記述することが求められる。記述されたものを後で削除することは、抜け落ちた情報を後から検出することに比べて容易である。この際には認知していない状況や、実施していない行動を記述する工夫が有効である。ただし、未実施の行動を単独のシンボルで記述をすると、それが主原因であるかのように受け取られやすい。交通事故の人的要因分析では単独のシンボルとはせずに、「安全確認せず交差点に進入」というようにその後に記載されるシンボルに含めて記述している。これは、分析結果の展開性を考慮に入れた場合に特に有効な記述方法である。事例が蓄積した際には、変動要因の集計などの統計的な分析により、事故の全体傾向の把握を行うことが予想される。この際に、「安全確認せず交差点に進入」と記載されていた場合、どこに問題があるのか明らかである。一方で「安全確認を実施していない」「交差点に進入」と複数のシンボルで記述していた場合、交差点に進入したことがなぜ問題となるのかがわからなくなる。

[4]に関しては、想定する対策との兼ね合いで決定する必要があることを指摘した。ただし、対策を想定する上ではある程度の分析の蓄積が必要である。それゆえ、単一のシンボル内には異なる情報処理プロセスの情報を混入しないこと、判断や行動が連続する場合はそれぞれ個別のシンボルに記述すること等、単一シンボル内には単一の情報を記述することに注意すればよいと思われる（この点で実施していない行動の記述方法は例外であるといえる）。しかし、こ

れはどの程度要素分解をすればよいかという疑問に対する回答とはならない。例えば医療分野において注射器を取り違えた事故を想定してみよう。「生理食塩水が入った注射器を準備する」というシンボルは一見して単一の情報が記述されているように見える。ただし、「生理食塩水10mlを注射器に吸う」「処置台の上におく」「流し台の下からプラスチック容器入りの洗浄液を取り出す」「10mlを同型の注射器に吸う」「処置台の上におく」「メモ用紙に洗浄液と書く」「セロテープを取りにいく」「メモを処置台の上の注射器に貼る」「生理食塩水の入った注射器を取る」と記述することもできる。前述した右折の例と同様、詳細な分解により複数の対策の検討が可能となる。しかし、交通事故のように短時間の間に発生する事故とは異なり、事故に関連した人の数が多く、経過時間が長い場合には全ての行動について詳細な記述を行うための労力は大きくなる。このため、調査可能な詳細さのレベルを基準としてツリーを作成し、特に重視する部分に関してより詳細な調査を行ってサブツリーを作成するという方法も提案されており⁴⁰、有効な方法であると考えられる。

[5]は該当数が少ない項目である。ツリー部と欄外の使い分けに関しては、ツリー部は、事故が発生する時間の流れの中で実際に行われた判断や行動、状態を記述し、時間的に前の段階で行われた判断や、通常の実施方法、補足説明等を欄外に記述するとすれば良いであろう。欄外に記述した方がよい情報がツリー内に記述されたとしてもそれほど大きな問題ではない。分析開始地点に関して、時間的にさかのぼった記述が行われることに問題はない。現実的に見ても、開始地点が論点となることは稀であり、これについては自然と定まってくると考えられる。なお、VTA作成上の誤りを防ぐためには、作成後の確認や関係者によるレビューが有効である。変動要因を特定する際には関係者によるディスカッションの必要性を述べたが、この際に記述内容の確認を求める段階から開始すればよいであろう。

4. まとめ

現場での事故分析活動を視野に入れ、人間の諸特性に関する知識を習得中の分析者を対象に、VTAを用いた分析結果の実証的記述性について検討した。分

析を行ったのは交通事故2事例であった。事前分析との比較の結果、記載事項の誤りや相違点は多くないものの、記述内容の不足が多いことが確認された。これらの相違点について三種類のカテゴリへの分割を行った結果に基づき、該当件数の多いカテゴリに関連する相違点の改善方法について検討した。最後に結果に基づき、分析実施上の指針について述べた。

今後は、これらの改善点を提示することで分析結果がどのように変化することを調べる必要がある。今回は分析経験の乏しい被験者を対象としたが、VTAの分析結果の差異が分析経験に依存するものであるのかについても調べる必要がある。また、他の業種におけるVTAの展開方法についても検討する必要がある。交通事故と比べて関与する人が多くなった場合、軸の設定方法や軸の並び順についても検討する必要があると考えられる。

VTAは他の分析手法と比較して簡便さに力点が置かれており、記法の制約が緩やかで、自由な活用が可能な手法である。それゆえ、指針を示しても完全な一致は望めないと考えられる。ただし、事故分析の本来の目的は対策の策定と対策の検討である。それゆえ、有効な対策を導き出すことができるようになることが記法のルールを設定していく上での到達目標となるといえる。

参考文献

- (1) 文部科学省 2004、「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」報告書、http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/anzen/houkoku/04042302.htm, [2005, August 18]
- (2) 山内佳子・山内隆弘 2000、医療事故なぜ起こるのか、どうすれば防げるのか、朝日新聞社
- (3) Hollnagel, E. 1993, Human Reliability Analysis, Context and Control, Academic Press (古田一雄監訳 1996、認知システム工学 状況が制御を決定する、海文堂)
- (4) International Civil Aviation Organization 1984, Accident Prevention Manual, (全日本空輸株式会社訳 1985、交通事故防止マニュアル、全日本空輸株式会社)
- (5) Walster, E. 1966, Assignment of Responsibility for an Accident, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.3, No.1, 73-79
- (6) Kjellen, U. 1982, An Evaluation of Safety Information Systems at Six Medium-sized and Large Firms, Journal of Occupational Accidents, Vol.3, 273-288
- (7) 行待武生監修 2004、ヒューマンエラー防止のヒューマンファクターズ、テクノシステム

- (8) 神田直弥・石田敏郎 2002、出合頭事故の分析による優先側運転者の無信号交差点進入行動の検討、交通心理学研究、Vol.18、No.1、7-18
- (9) Poucet, A. 1988, Survey of Methods Used to Assess Human Reliability in the Human Factors Reliability Benchmark Exercise, Reliability Engineering and System Safety, Vol.22, 257-268
- (10) Svenson, O., Lekberg, A. & Johansson, A. E. L. 1999, On Perspective, Expertise and Differences in Accident Analyses: Arguments for a Multidisciplinary Integrated Approach, Ergonomics, Vol.42, No.11, 1561-1571
- (11) Leplat, J., and Rasmussen, J. 1984, Analysis of Human Errors in Industrial Incidents and Accidents for Improvement of Work Safety, Accident Analysis and Prevention, Vol.16, No.2, 77-87
- (12) 黒田勲 1994、対策指向型の災害分析手法を考える！、大成建設株式会社
- (13) 小澤宏之 2000、大成建設のヒューマンファクターからの防止対策～バリエーション・ツリー法～、働く人の安全と健康、Vol.51、No.1 (付録)、62-67
- (14) 重森雅嘉、深澤伸幸2000、階層型VTAと仮説演繹的事故分析手法の提案、人間工学、Vol.36、特別号、354-355
- (15) 神田直弥・石田敏郎 2000、航空機事故とヒューマンファクター、オペレーションズリサーチ、Vol.45、No.11、574-579
- (16) 吉澤由里子 2002、ヒューマンエラー事例分析手法H2-SAFERと分析支援システムFACTFLOWの開発、日本プラントヒューマンファクター学会誌、Vol.7、No.1、2-9
- (17) 石田敏郎 1999、バリエーションツリー分析による事故の人的要因の検討、自動車技術会論文集、Vol.30、No.2、125-130
- (18) Svenson, O. 1991, The Accident Evolution and Barrier Function (AEB) Model Applied to Incident Analysis in the Processing Industries, Risk Analysis, Vol.11, No.3, 499-507
- (19) 小倉仁志 1997、なぜなぜ分析徹底活用術、日本プラントメンテナンス協会
- (20) 塩見弘 1997、FMEA、FTAの活用、日科技連
- (21) 井上威恭 1979、FTA安全工学、日刊工業新聞社
- (22) 杉村徹 1980、FTAによる交通事故分析、釧路工業専門学校紀要、Vol.14、47-49
- (23) 林喜男 1988、人間信頼性工学、海文堂
- (24) Fischhoff, B., Slovic, P., & Lichtenstein, S. 1978, Fault Trees: Sensitivity of Estimated Failure Probabilities to Problem Representation, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol.4, No.2, 330-344
- (25) Rasmussen, J. 1990, Human Error and the Problem of Causality in Analysis of Accidents, In D. E. Broadbent, F. R. S., A. D. Baddeley, & J. Reason, (Eds.) Human Factors in Hazardous Situations, 1-14, Clarendon Press: Oxford