

# Development of car-crash accident simulator based on Petri nets and its application to anti-accident measures for dangerous points

|       |                                                                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者:<br>公開日: 2018-11-01<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: Kimata, Noboru<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="https://doi.org/10.24517/00052610">https://doi.org/10.24517/00052610</a>                          |

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# ペトリネットによる車両衝突事故 シミュレーションの開発と危険箇所対策への応用

(研究課題番号 10650523)

平成10年度～平成11年度科学研究費補助金〔基盤研究(C)(2)〕

研 究 成 果 報 告 書

平成12年3月

研究代表者 木 俣 昇

金沢大学附属図書館

(金沢大学工学部教授)



8000-89033-X

学

KAKEN  
1999  
43

ペトリネットによる車両衝突事故シミュレーションの開発と  
危険箇所対策への応用

(課題番号 : 10650523)

平成 10・11 年度 科学研究費補助金 ( 基盤研究 (C)(2) )

研究成果報告書

平成 12 年 3 月

研究代表者 木 俣 昇  
(金沢大学工学部教授)

著 者 寄 贈

## 研 究 組 織

研究代表者：木 俣 昇 (金沢大学工学部教授)

研究分担者：高山 純一 (金沢大学工学部教授)

## 研 究 経 費

平成 10 年度      1,600 千円

平成 11 年度      1,100 千円

合    計              2,700 千円

## 研 究 発 表

1) 木俣 昇, 千田 諭, 浦本 武: ペトリネットによる車両衝突事故シミュレーションに関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, 21 (1), 363—366 (1998)

2) 木俣 昇, 鷺見育男: 地震時車両衝突火災事故のペトリネットシミュレーション, 第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, 3, 533—536 (1998)

3) 木俣 昇, 千田 諭, 横山 誠: ペトリネットによる違法駐車に伴う迷惑渋滞のシミュレーション実験, 土木計画学研究・講演集, 21 (2), 807—810 (1998)

4) 木俣 昇, 森生修次, 白水靖郎: 道路形状を考慮した交通流のペトリネットシミュレーション実験, 土木学会中部支部講演概要集, 391—392 (1999)

5) 高山純一, 小川由紀子, 林 忠信: 富山県における高齢者の交通行動特性から見た交通事故要因分析に関する研究, 土木学会中部支部発表会講演集, 423—414 (1999)

6) 木俣 昇, 千田 諭, 岸野啓一, 樫村吾郎 : ペトリネットを用いた交通流シミュレータの応用可能性, 土木計画学研究・講演集, 22 (2) , 813-816 (1999)

7) 木俣 昇: 追突事故リスク内在型交通流のペトリネット・シミュレータの開発  
土木計画学研究・講演集, 22 (2) , 845-848 (1999)

8) 木俣 昇, 千田 諭, 白水靖郎: ペトリネットを用いた交通流シミュレータの検証  
土木計画学研究・講演集, 22 (2) , 865-868 (1999)

9) 木俣 昇, 高城秀樹 : 追突事故リスク内在型ペトリネット・シミュレータの実行結果について, 土木学会中部支部発表会講演概要集, 353-354 (2000)

10) 木俣 昇, 千田 諭: ペトリネット型交通シミュレーターの現況再現性向上に関する研究, 土木学会中部支部発表会講演概要集, 355-356 (2000)

11) 高山純一, 松生 智,: 高齢者の交通行動特性から見た交通事故要因の分析, 土木学会年次学術講演概要集, IV-207, 414-415 (1999)

12) 高山純一, 松生 智, 山口清仁: CGと実走行実験による右折車の紅葉マークの視認性に関する調査研究, 土木学会中部支部発表会講演概要集, 351-352 (2000)

13) 高山純一, 松生 智, 山口清仁: 交差点内における高齢ドライバーの交通行動特性に関する調査研究, 土木学会中部支部発表会講演概要集, 381-382 (2000)

## 目 次

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| 第 1 章 交通事故シミュレーション研究の枠組              | 1-1  |
| 1-1 交通事故研究のフレーム                      | 1-1  |
| 1-2 事故シミュレーション研究のフレーム                | 1-3  |
| 1-3 本研究の構成                           | 1-4  |
| 第 2 章 交通流のペトリネット型シミュレータの安全確保機構の解明    | 2-1  |
| 2-1 まえがき                             | 2-1  |
| 2-2 2 種の安全確保機構とその破綻化アイデア             | 2-1  |
| 2-3 安全確保機構の破綻化ネットの構成                 | 2-9  |
| 2-4 追突事故シミュレーションネットの構成と実行確認          | 2-13 |
| 2-5 事故シミュレーションの応用事例                  | 2-10 |
| 第 3 章 追突事故リスク内在型の交通流のペトリネットシミュレータの開発 | 3-1  |
| 3-1 まえがき                             | 3-1  |
| 3-2 ドライバー系の部分ペトリネットの開発               | 3-2  |
| 3-3 事故リスクシミュレーションネットの構成              | 3-5  |
| 3-4 事故リスクシミュレーション結果と考察               | 3-8  |
| 3-5 あとがき                             | 3-13 |
| 3-6 参考文献                             | 3-14 |
| 第 4 章 信号交差点における右折ドライバーの交通特性に関する調査    | 4-1  |
| 4-1 本研究の背景と目的                        | 4-1  |
| 4-2 高齢者の交通行動特性に関する実態調査の目的            | 4-2  |
| 4-3 ビデオ調査の方法                         | 4-2  |
| 4-4 ビデオ調査の内容                         | 4-2  |
| 4-5 ビデオ撮影による交通行動特性の実態調査集計結果          | 4-7  |
| 4-6 ビデオ撮影による交通行動特性の実態調査集計に関する考察      | 4-43 |
| 4-7 ま と め                            | 4-47 |
| 4-8 参考文献                             | 4-49 |

## 第 1 章 交通事故シミュレーション研究の枠組

### 1-1 交通事故研究のフレーム

自動車 1 万台当たりの交通事故死亡者数及び自動車 1 億走行台キロ当たりの交通事故死亡者数は、漸減傾向が続いている。しかし、自動車保有台数も走行台距離も年々増大しており、事故件数そのものは増加し続けている。死者数も 1 万人を超える状態が続いており、事故研究とそれに基づく安全対策の実行は依然として強く求められている。

交通事故に関連する系は、図 1-1 に示すように、Ⅰ:運転系、Ⅱ:道路系、Ⅲ:車両系、Ⅳ:社会系、およびⅤ:自然環境系の 5 つに大別することができるだろう。事故研究の視点や安全対策の視点は、このようなフレーム上で体系的に論じる必要があると考える。

まず、事故要因は、マクロにはこの中のⅠの運転系が 65%を、Ⅱの道路系が 25%を占めるといわれる。そのために、ⅣとⅤとの関連を意識して、ⅠとⅡに焦点を当てた研究が主となるだろう。次に、事故の類型として、①車両間事故 ②車両単独事故 ③対歩行者事故 の区分が使用されるが、これらも図 1-1 のフレームとの関連で整理すれば、表 1-1 のようになる。この表では、図 1-1 の中の 3 つの系のみとの関連で整理しているが、例えば、道路系との関連では、家田らの研究では、

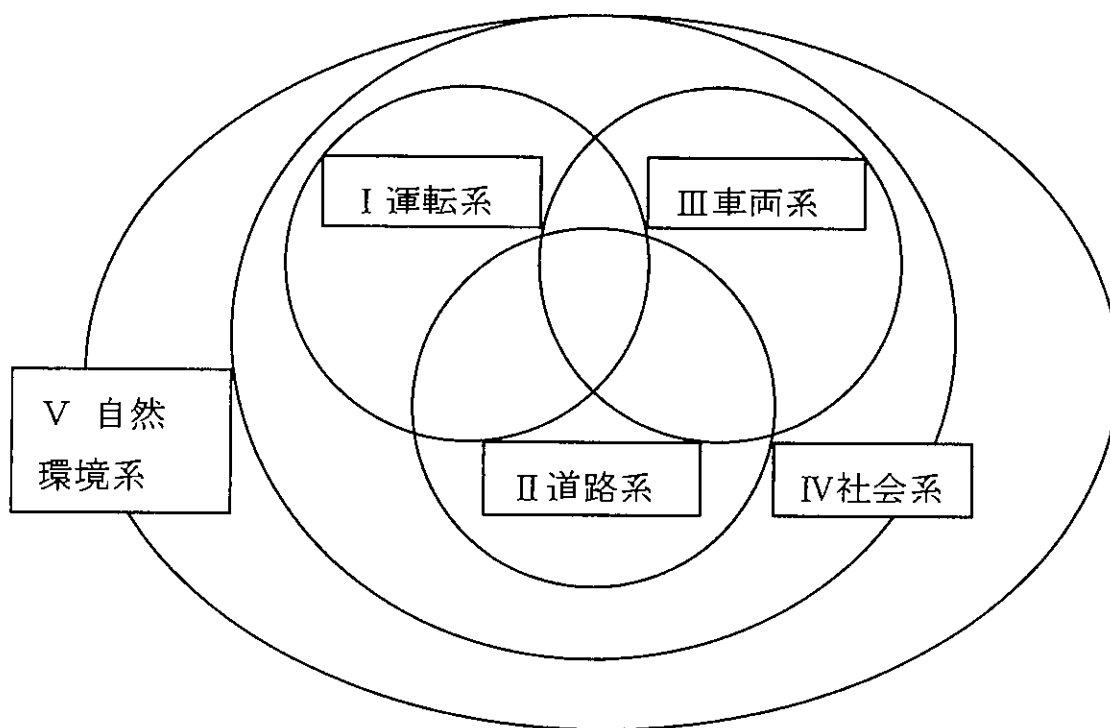


図 1-1 交通事故関連系の複合性フレーム

表 1-1 衝突事故の類型化

| 事故類型  | 事故形態   | 道路系      | 運転系        |
|-------|--------|----------|------------|
| 車両間衝突 | 追突事故   | 単路部・交差点部 | 若者/<br>高齢者 |
|       | 正面衝突   | 単路部・交差点部 |            |
|       | 側面衝突   | 交差点部     |            |
| 単独事故  | 転倒事故   | 単路部・交差点部 | 男性/<br>女性  |
|       | 対物衝突事故 | 側壁・設置物   |            |
| 歩行者事故 | 右左折車事故 | 交差点部     |            |
|       | 直進車事故  | 単路部・交差点部 |            |

「危険箇所」とされる単路部では追突事故は普通の単路部の 3.4 倍、交差点部では右折・対向直進車間事故が 6.7 倍、追突事故は 4.3 倍と突出している。また、運転系との関連では、若者と高齢者で事故率が高いとされている。図 1-1 のフレームは、この 2 つを合わせれば、危険箇所の分析には、その交通流でのこれら運転者の構成比との関連という視点からの検討が必要となること、そして、この構成比は、Ⅳの社会系と密接に関連するものであり、特に、危険箇所の予測という点では、この系の上での議論も必要となることを示唆している。さらに、高齢者の問題については、図 1-1 では、運転系と道路系の双方に関連するとすることもできよう。即ち、歩行者事故の被害者であると同時に、この事故類型を含む全ての事故類型で加害者ともなりうるという 2 面性への視線も事故研究には必要となる。

いずれにしても、自動車交通システムは、図 1-1 に示すように複合系である。それらの相互作用への幅広い視線が、事故研究ひいては安全な交通システムの研究には必要である。現在進行中の ITS 研究は、ⅠとⅡとⅢの重なり合う部分で展開される交通システムの安全化研究といえるだろう。ここでもⅣとⅤの関連からの視点も重要となるだろうが、本研究では、このような視点の拡大化を意識しつつも、当面は運転系の中核は人間であるとし、まず、運転中の認知・評価・指令という情報処理プロセスに焦点を当てた研究を行う。そして、事故類型としては、単路部、交差点部の両方の危険地点で問題となる追突事故を中心とし、運転系と道路系との関連を考慮した事故リスク内在型のシミュレーション開発を目的とする。

## 1-2 事故シミュレーション研究のフレーム

交通事故に関しては、種々の方法での研究がなされている。まず、発生した事故の調査研究、次に、その結果の事故統計を基にする事故予測の確率・統計モデルの開発、そして、追突事故等に関する車両の運動系のシミュレーション研究、さらにヒヤリ調査研究等々が行われている。

図 1-1 では、交通事故に関連する複数の系からの視点の必要性を示したが、これらの事故研究を整理し、本研究の位置付けを行うには、図 1-2 に示すように、衝突事故の時間経緯を示すプロセスからの視点が必要となる。まず、事故には、自然環境系、社会系、道路系から何らかの事故誘引因子が発生している。これが運転系に作用し、そこでの処理プロセスでミスが発生させる。その結果を受けて運転系は何らかの緊急回避行動を採るが、それがうまく機能しないときに衝突

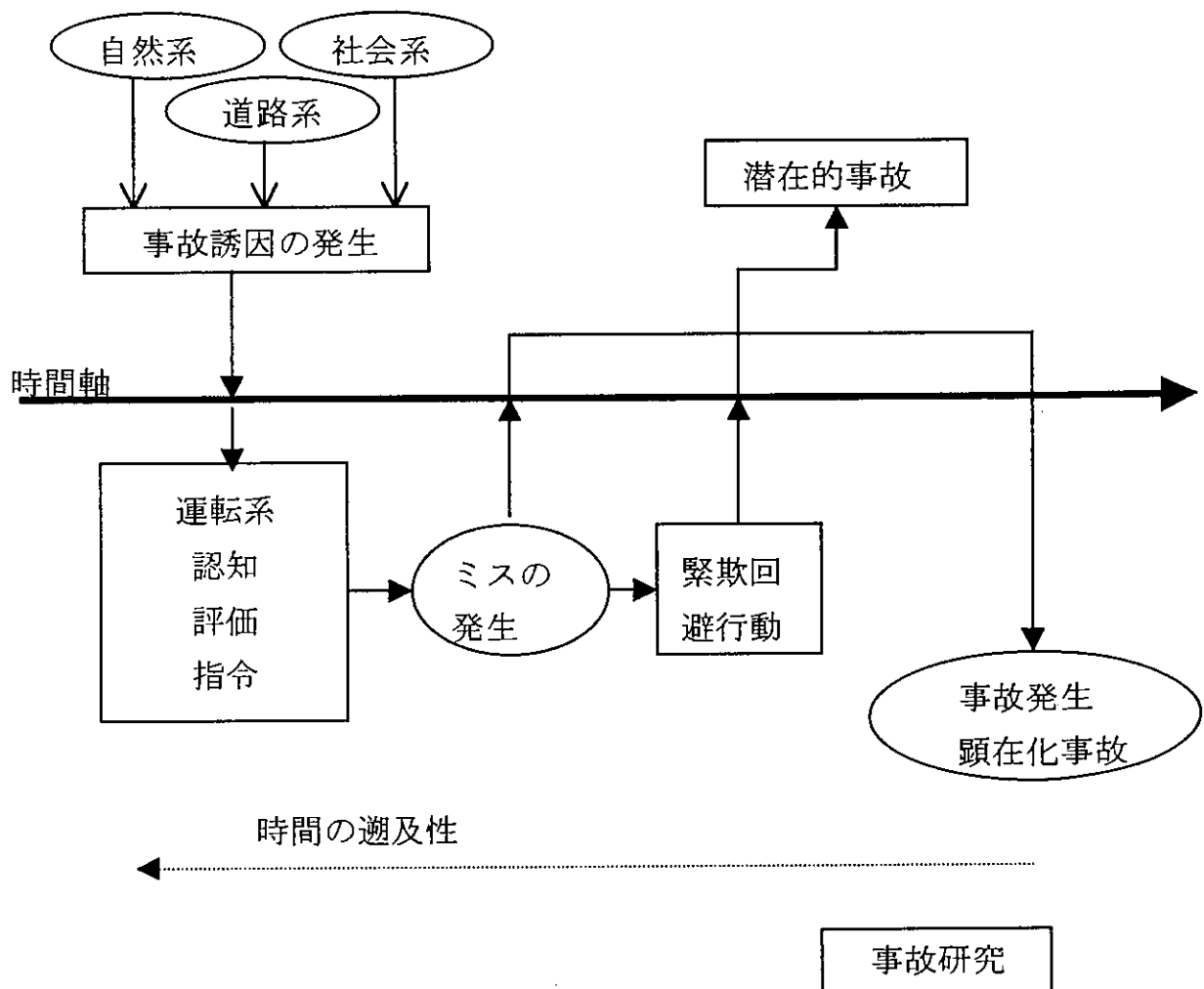


図 1-2 事故研究と時間軸

事故として顕在化し、機能したときには潜在的事故で済むことになる。

事故調査は、このプロセスを時間遡及する形で調査を行い、事故原因を調べ、統計データ化するものといえよう。この時間遡及は、通常は関係者からの聴取によるもので、主観性が伴うとい

う問題点がある。この点を改良するために、遡及時間的にも、適用場所的にも限定的ではあるが、ビデオを活用する方式も研究開発されて来ている。確率統計モデルの研究は、事故統計データを基に、独自に図 1-1 の関連系の調査を実施し、事故類型と事故要因との相関モデルを開発し、危険個所の判定や、地点別の事故発生率を予測するものといえよう。

このとき、顕在化事故のみを利用するのか、あるいは潜在的事故にも目を向けるのかが問題となる。現状の事故調査は前者のみである。従って、後者は独自調査研究となり、この点に着目するのがヒヤリ調査といえるが、図 1-2 に示すように、この両者の差をもたらすプロセスにも注目する必要がある。

車両の運動系のシミュレーション研究は、図 1-2 のプロセスでは、緊急回避行動の指示以後の車両の運動系の研究が主で、道路系の特性と車両系の特性を考慮して運動力学的な記述の開発がなされている。本研究では、1-1 で述べたように、まず、図 1-2 のプロセスをできるだけ遡及して、地点での事故誘因の発生から、ドライバーによる認知・評価・指令のプロセスを経て、前方認知ミスの発生やブレーキングによる回避までのプロセスをも組み込むことを目指す。さらに、ブレーキングによる被追突リスクをも考慮したシミュレーションを考える。

次に、瞬時のミスが事故につながるといわれるように、時間そのものの取扱い法が問題となる。上述の車両の運動系のシミュレーションでは、微小時間  $\Delta t$  を基準とする力学系の記述に共通な一定時間増分法が採用される。そして、人間の反応時間の間に車両が進む距離と、その後の制動効果が記述できる次元の微小な  $\Delta t$  が使用されることになる。

一方、本研究では、ドライバーの反応に至るまでの情報処理のプロセスをも問題とする。即ち、力学的な時間系と、それとは別系統の時間系をも取扱うことになる。この両系統を取扱うために、着目すべき事象を明確にして、それらの事象の生起に伴って時間が進行する可変時間増分法を採用する。ちなみに、この方式では、時計の進行という事象を組込むことで、一定時間増分法的な進行記述も可能となる。

具体的には、われわれが開発してきた可変時間増分法で駆動する交通流のペトリネットシミュレータを使用し、これにドライバー系のプロセスネットを結合化させた事故リスク内在型のシミュレーションシステムの開発を提案する。着目すべき事象を明確にする可変時間増分法は、また、確率的に生起する事象も確実に捕捉するために、事故シミュレーションには最も適合した方式であると考えられる。さらに、安全対策の発想面でも有用である。即ち、安全対策として有効に働く事象については、その事象をさらに細分化し、より具体的な着目事象を用いたサブ・システムネットを作成することによって、安全対策をより具体的に進める道が開かれるからである。

### 1-3 本研究の構成

本研究では、以上のような展望の下で、事故リスク内在型のペトリネットシミュレータの開発の可能性を、以下のような構成で検討する。第 2 章では、交通流のペトリネットシミュレータの本体側に組み込まれている 2 つの安全確保機構を明らかにし、まず、自律型安全確保機構は、そ

の安全確保の原理である車両進行ネットでの complement なマーキング関係を、トークンの出現化ネットで阻害することで、強制型安全確保機構は、その安全確保の原理であるトランジションへの抑止関係を、トークンの消滅化ネットや非マーキングネットで阻害することで、共に破綻化させることが出来ることを示す。そして、このアイディアの実現性を、単路部での追突事故を対象に、トークンの出現化ネットの構成法、事故発生時の自動検出と正常化処理ネットの構成法、およびそれらネットの交通流ネットへの結合化法を考案し、既開発の交通流のペトリネットシミュレータで考案ネットが駆動可能なことを確認し、さらに、事故処理ネットによる継続シミュレーションの実行性と、得られた事故回数の説明性を検討することを通じて明らかにする。

第3章では、第2章の成果の上に、ペトリネット方式の長所である結合性と特殊トランジションとを最大限に活用して、事故誘因の発生からその処理に至るドライバー系のプロセスネットの精緻化を試みる。まず、発生する事故誘因を、カラートークンの生成、選択トランジションを使用して細分化し、さらに発生ミスの種類も細分化する。次に、運転系を前方認知ミスを起こす存在であるとともに、正常な判断とブレーキングによって事故発生をきわどく回避することのできる存在でもあるという2面性を持つものとして組み入れる。そのために、車両進行ネットとの結合化についても、道路系の特性とも関連づけた方式に改良する。また、2面性という点では、このドライバー系ネットでは、ミスの顕在化を抑止するものとして、警戒心の働きをも組み入れる。即ち、地点の危険度は高いほど事故の発生は増えるが、それは事故に対する警戒心をも上昇させるという形での2面性を考慮することを試みる。

第4章では、本研究でのシミュレーション対象とした追突事故以外の事故類型である右折車対向直進車間での事故を取り上げる。その際に、図1-1のフレームとの関連で指摘した運転系との関連性に特に着目する。即ち、若者と高齢者ドライバーの事故率が高とされるが、交差点でのこれらドライバーの行動を調査し、3章でのドライバー系のプロセスネットのさらなる精緻化と、2章で明らかにした強制型安全確保機構の破綻化によるこの事故類型のシミュレーション開発の条件整備を行う。

## 第2章 交通流のペトリネット型シミュレータの安全確保機構の解明

### 2-1. まえがき

第1章の事故研究のフレームでは、運転系、車両系、道路系に分けて、事故要因とその作用関係について考察を行った。そして、それらの要因の発生からドライバーの認知、判断、行動の結果としての事故リスクシミュレーション研究を行うとした。この事故シミュレータの開発には、まず事故要因を組み入れた実現交通流の記述が必要となる。本章では、われわれが開発してきた交通流のペトリネット型シミュレータを用いて、この要件の達成を試みる。

われわれが開発してきたペトリネット型のシミュレータの特長としては、

- i) 交通流の基本部分である“車両の到着”、“車両進行”、“信号制御”、“車両分岐”、“車線変更”、“左右折抑止”、“合流”、“横断歩行者”などの部分ネットを結合化し、対象交通流の視覚的なシステム記述ネットを構成すること、
  - ii) 記述ネットの駆動系は、トランジションの発火とプレスタイマ更新表による車速決定という単純ルールによる汎用性の高いものであること、
- を挙げることができる。この2点は、事故シミュレータの開発において、上述のような事故要因という別種のネットの組み入れと、そのままでのシミュレーション実行を可能にするという重要な働きをするといえよう。

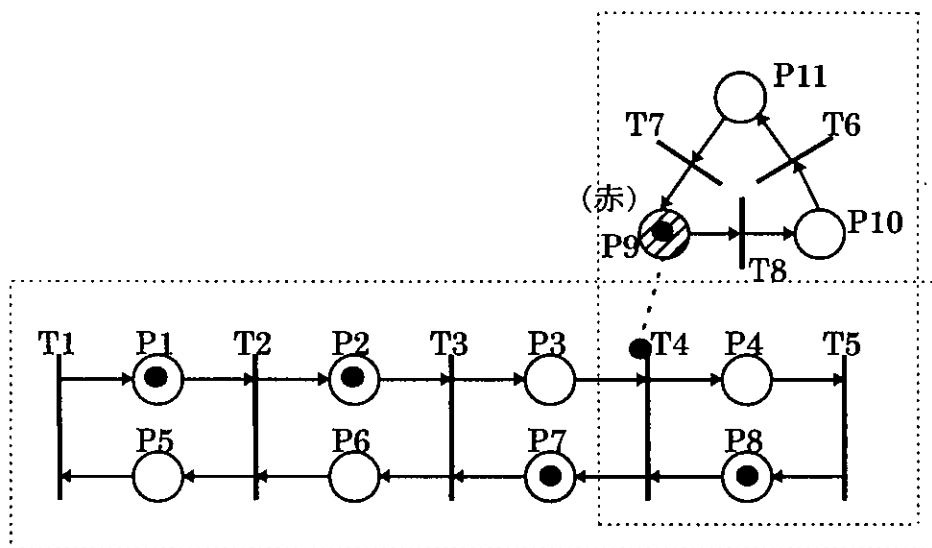
われわれは、このシミュレータを用いて種々の対象交通流の記述ネットを作成し、実交通流の再現性の検証を行っている。問題点は、このシミュレータの開発目的は、渋滞解析とその対策案評価の支援にあり、安全な交通流の保証という要件の下で開発されたものであり、事故リスクの内在化が可能かという点である。そこで、本章では、

- ①ペトリネットシミュレーションに組み込まれている2つの安全確保機構を明らかにし、
  - ②事故リスク内在化の方法として、それらの安全確保機構の破綻化のアイデアを示し、
  - ③破綻化ネットを結合した事故リスク内在型シミュレーションネットの構成とその実行性を確認する、
- ことを目的とする。

### 2-2. 2種の安全確保機構とその破綻化アイデア

上述したように、ペトリネットシミュレータでは交通流の基本部分ネットの結合化で対象とする交通流を記述する。図2-1は、車両進行の部分ネットと信号制御の部分ネットのみを結合させた単純な1車線の走行ネットの例である。このネットにも2種類の安全確保機能が組み込まされている。まず、その中の車両進行の部分ネットのみを図2-2に示す。

このネットの特徴は、道路を閉塞区間に分割し、閉塞区間が“空き”を示すブレース（図2-2の



(トランジションの説明)

T1, 2, 3, 4, 5: 車両がある区間を通過  
T6: 青から黄へ信号変化  
T7: 黄から赤へ信号変化  
T8: 赤から青へ信号変化

(プレースの説明)

P1, 2, 3, 4: 閉塞区間の空きを表キプレース  
P5, 6, 7, 8: 車両の存在を表キプレース( PT)  
P9: 赤信号の状態を表キプレース( PT)  
P10: 青信号の状態を表キプレース( PT)  
P11: 黄信号の状態を表キプレース( PT)

図 2-1 交通流における2つの型の安全確保機構

ネットの下段)と“車両の存在”を示すプレース(同上段)の2つのプレースで表現する所にある。この2つのプレースは complement 関係、即ち、どちらか一方のみにトークンがマーキングされるという関係にある。この図では、左方の2閉塞区間(上段にマーキング)に車両が存在し、その前方の右方の2閉塞区間(下段にマーキング)が空きである状態を示している。

車両の進行を意味するトランジション(T1~T5)は、2次の発火ルールと発火処理に従う：

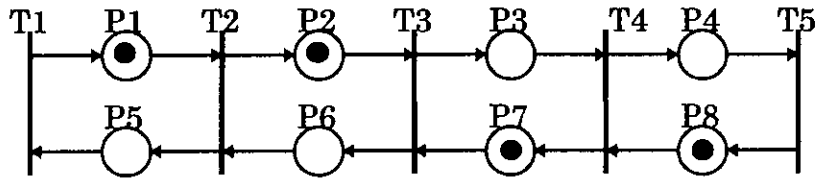
<発火ルール>

- ①入力条件：全ての入力プレースにトークンがマーキングされており、
- ②抑制条件：全ての抑止プレースにトークンが存在しないときのみに発火し、

<発火処理>

- ①全ての入力プレースから各1個のトークンを消去し、
- ②全ての出力に1個ずつトークンを配置する。

図 2-2 に示す車両進行の部分ネット図では、従って、プレースの complement 関係とトランジションへの入出力関係によって、車両の進行は、その前方空間が空きのときのみ起こり、車両



(トランジションの説明)

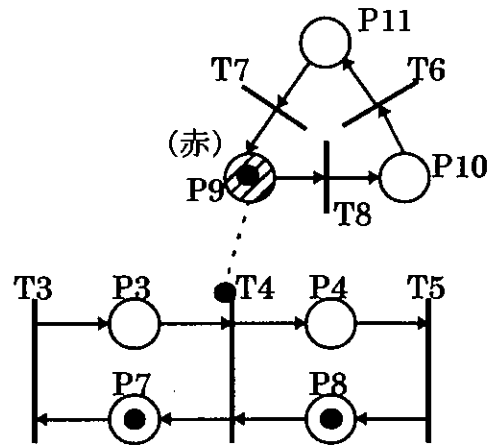
T1, 2, 3, 4, 5: 車両がある区間を通過

(プレースの説明)

P1, 2, 3, 4: 閉塞区間の空きを表キブレース

P5, 6, 7, 8: 車両の存在を表キブレース (PT)

図 2-2 自律的安全確保機構



(トランジションの説明)

T3, 4, 5: 車両がある区間を通過

T7, 8, 9: 信号の変化

(プレースの説明)

P3, 4: 車両の存在を表キブレース

P7, 8: 空間の空きを表キブレース (PT)

P9, 10, 11: 信号の状態を表キブレース (PT)

図 2-3 強制的安全確保機構

の進行後にもネットの complement 関係が自動的に維持されることになる。図 2-2 では、P1 の車両は、P2 の車両が P3 に進行し、P6 にトークンがマーキングされ、前方閉塞区間が空きになってから進行することになり、追突は決して起きないネットとなっている。この機構のことを、ペトリネット型シミュレータの自律型安全確保機構と呼ぶ。換言すれば、全ての車両の前方確認が完全になされ、最小安全間隔が保たれると仮定していることになる。

赤信号による車両停止は、図 2-3 に示すような抑止アーク (点線) の使用でモデル化している。P1 の車両は、P7 にトークンがある (前方閉塞区間が空き) にもかかわらずに、P1 の車両の進

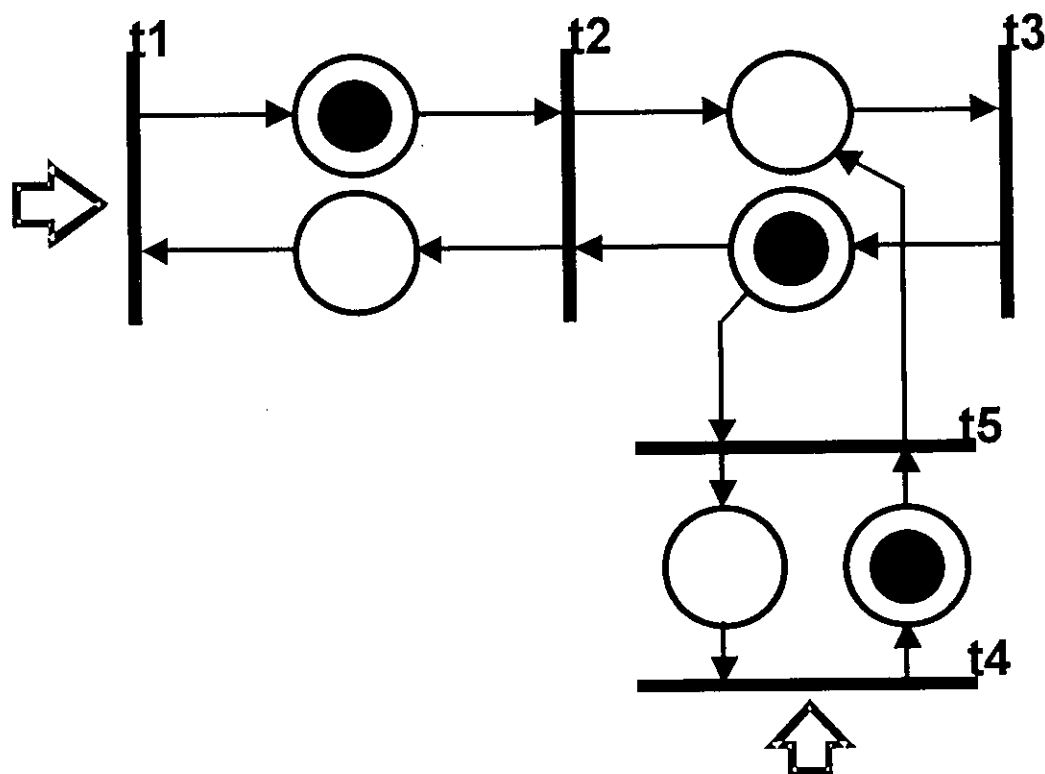


図 2-4 交差点内での同時発火(競合関係)

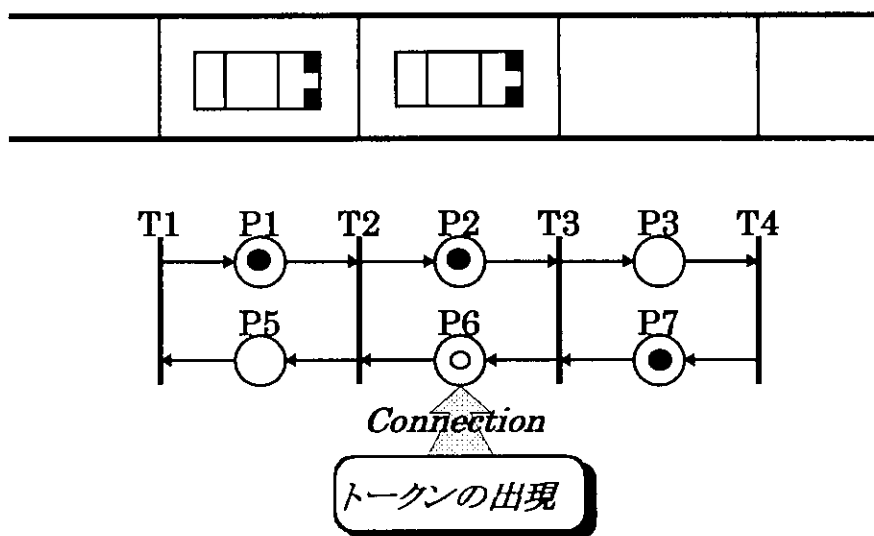
行を意味する T2 の発火が P9 のトークンによって抑止され、上述の〈発火ルール〉の②のために P9 のトークンが P15 に移るまで、即ち青現示になるまで発火せず、進行できなくなる。この機構をペトリネット型シミュレータの強制型安全確保機能という。この強制という意味は、図 2-4 に示すような交差点進入車両間の競合関係を考えることでより明確となる。

図 2-4 は左方と下方からの車両が進行し、交差点に差しかけた状態を示している。この 2 台の進行を意味する t2 と t5 は、ともに上述の〈発火ルール〉の①と②を満たしており、発火可能な状況にある。このケースの場合、同一の閉塞区間の空きを表わすPlacesが共通の入力Placesとなっており、このPlacesのトークンは t2 と t5 で取り合い状態にある。このことを競合関係にあるという。一般的には、ペトリネットモデルでは、この場合には t2 か t5 をランダムに選択して、その一方のみのトランジションを発火させるアルゴリズムをとる。このアルゴリズムでも上述の〈発火処理〉と自律型の安全確保機構が働き、交差点での衝突は起きない。

一方、交通流ペトリシミュレータでは、このような同時発火の状況のときには、双方のトランジションを発火させるアルゴリズムを採用している。それは、1 つには、危険側を想定し、その安全確保を意識して、視覚的なネットとして組み入れることで明示化する方針のためである。いま 1 つは、ランダムな選択ではこのようなリスク状況に関するドライバーの判断プロセスの記

述ができないことによる。具体的には、図 2-3 に示したように、抑止プレースと抑止アークを利用し、抑止プレースにトークンが存在する間は<発火ルール>の②によって当該トランジションの発火を抑止するという形の特徴的なネット図を使用する。

この強制型安全確保機構は、強制しなければ保証されない機構であり、何を組み入れるかはモデル作成者の判断による。交通信号は法的強制力をもつ。しかし、優先権が明確でない信号設置交差点でも、右折車対向直進車間では、直進車に優先権はあっても、ドライバーの判断にまかされる部分がある。渋滞対策の支援シミュレータでは、それらの全てで安全な交通流が実現されていることを前提としての考察と評価が求められる。われわれのシミュレーションネットでは、右折一对向直進車間、左折一横断歩行者間の安全性を、この強制型安全確保機構によってネットモデル化し、意識的に組み込むことでこの要請に答えている。



(トランジションの説明)

(プレースの説明)

T1, 2, 3, 4: 一般車両がある区間を通過 P1, 2, 3: 車両の存在を表キプレース (PT)

P5, 6, 7: 閉塞区間の空キを表キプレース

図 2-5(1) 自律型安全確保機構の破綻化アイデア

ここで、この2種類の安全確保機構を破綻させる基本アイデアを考える。まず、自律型機構は、1つの閉塞区間を complement な関係にある2つのプレースで表現し、この関係が自律的に保たれるネット構造で追突安全性を確保するものであった。この complement 性は、図 2-5(1)に示すように“トークンの出現ネット”を結合化することによって破綻する。即ち、トランジション T2 は、その2つの入力プレース P1 と P2 にトークンがともにマーキングされ、発火可能となる。

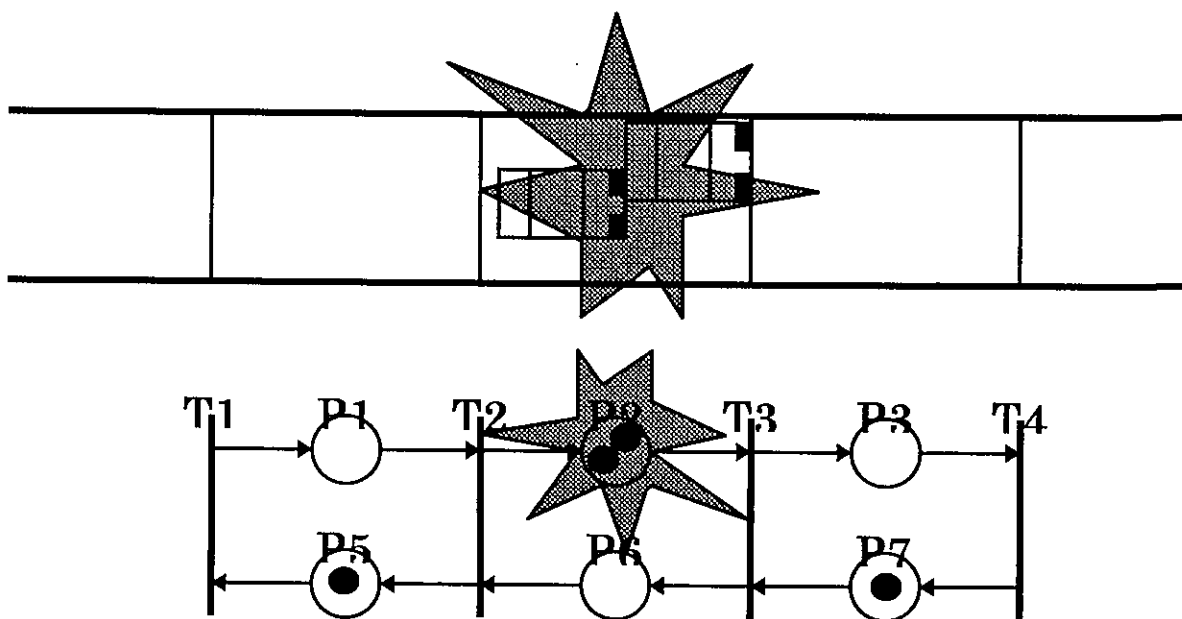
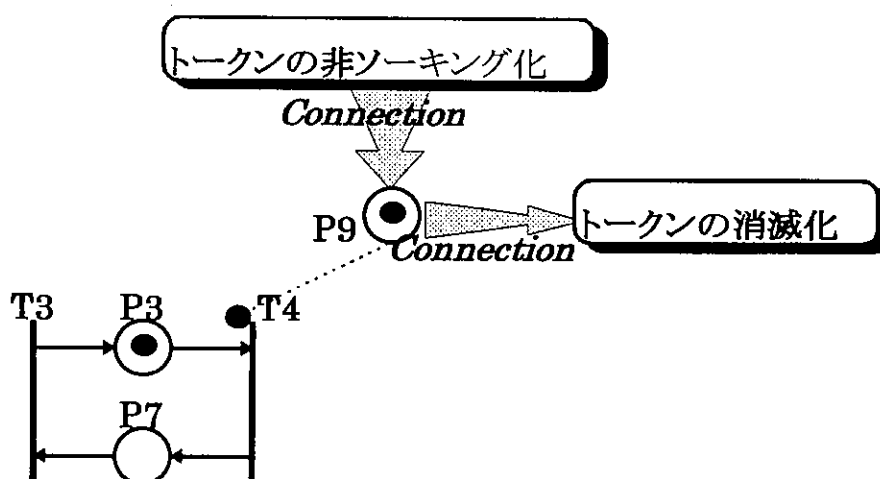


図 2-5(2) 自律的安全確保機構の破綻化の帰結



(トランジションの説明)

T3, 4: 一般車両がある区間を通過

(プレースの説明)

P3: 車両の存在を表キプレース ( PT)

P7: 閉塞区間の空キを表キプレース

P9: 予止プレース

図 2-6(1) 強制的安全確保機構の破綻化アイデア

その結果、図 2-5(2)に示すように T3 の発火前に T2 が発火し、P2 に 2 つのトークンが出現し、追突事故が発生するリスクが生まれることになる。

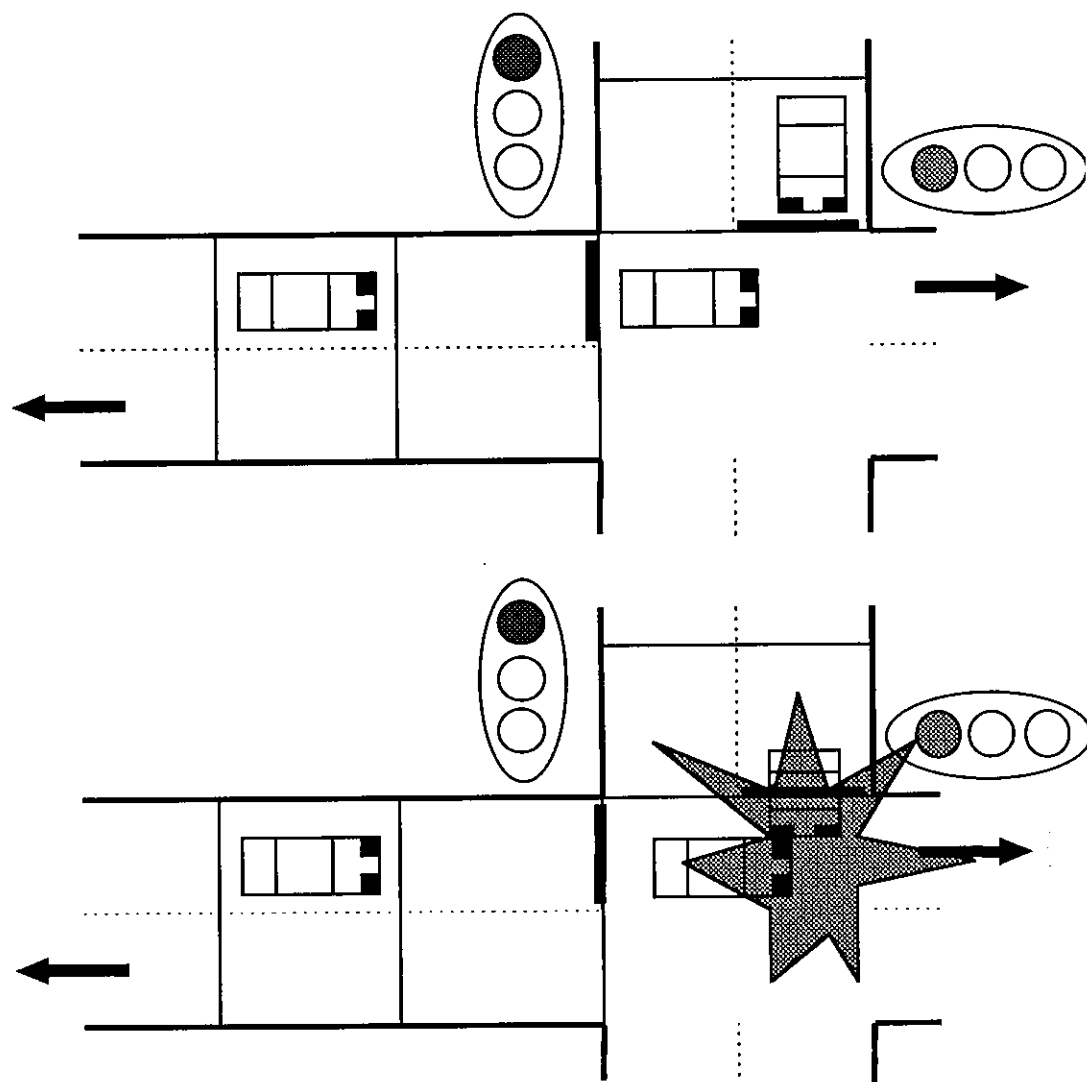


図 2-6(2) トークンの消滅化アイデア

次に、強制型機構は、抑止プレース上のトークンによるトランジションの発火抑止ルールを活用することで安全性を確保するものであった。この抑制効果は、図 2-6(1)に示すように、抑止プレース上の“トークンの消滅化ネット”あるいは抑止プレース上への“トークンの非マーキング化ネット”を結合することで機能しなくさせることができる。図 2-6(2)は、赤現示トークンの消滅による衝突事故リスクを、図 2-6(3)は、対向直進車による右折抑止プレースへのトークンの非マーキングによる衝突事故リスクの内在化の可能性を示唆するイメージ図である。次節では、この

3つの破綻化アイデアのネット化について述べる。

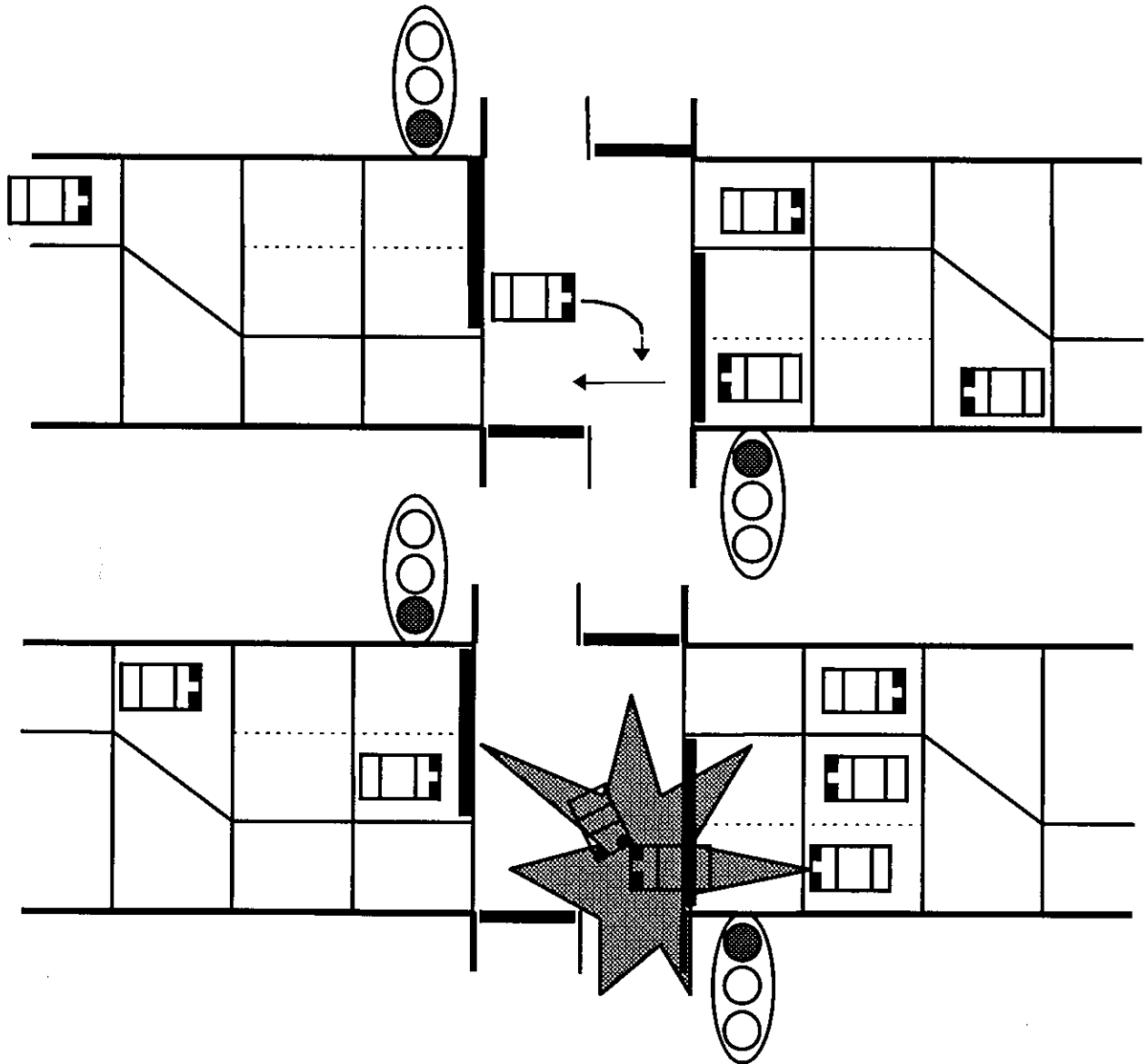


図 2-6(3) トークンの非マーキング化アイデア

## 2-3 安全確保機構の破綻化ネットの構成

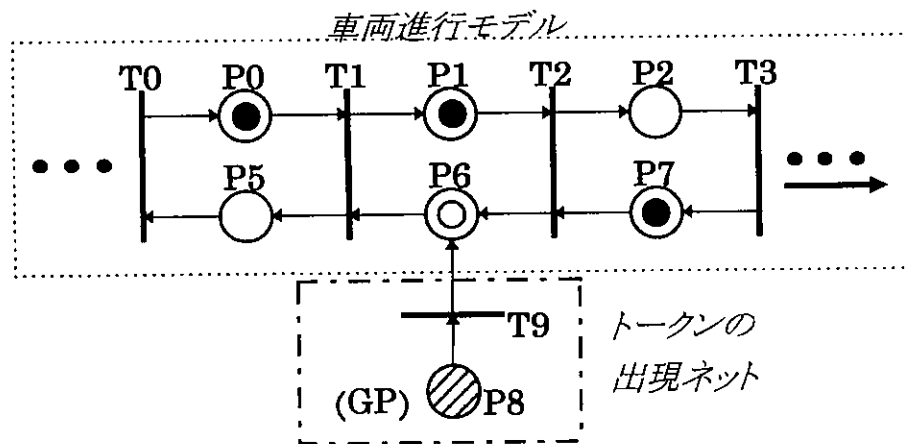
### ① トークンの出現ネットの作成

まず、自律型安全確保機構の破綻化アイデアとして“トークンの出現”ネットの作成を考える。図 2-7 は、交通流シミュレーションシステムの車両進行モデルに、点線で囲む最も単純なトークン出現ネットを結合化したものである。即ち P8 の生成プレース(GP)で、トークンをランダムに発生させ、そのトークンがトランジション T9 を発火させ、閉塞区間の空きを表わす P6 のプレースに出現するというネットである。

このネットでは、発生したトークンは必ず P6 に複数のトークンが出現するといった不都合が発生する。図 2-8 は、このネットをもう少し複雑化し、ある一定時間、ある確率で P6 にトークンが 1 個出現するネットに改良したものである。図 2-8 のトークン出現ネットでは、カラートークン生成トランジション(GT)とそのカラーに応じて出力プレースを選択する選択トランジション(ST)という特殊なトランジションを導入している。また、P13 のトークンにはタイマを設定し、P6 に出現したトークンは P13 のトークンに設定される時間だけそこに留まり、complement 関係をこの時間だけ破綻化させるネットとなっている。

このトークン出現ネットで設定可能なパラメータは

- P8 の発生プレースに設定されるトークンの発生率： $\lambda$  (個/分)
- T4 の生成トランジションに設定される破綻化トークンの生成率： $\alpha$  (%)



(トランジションの説明)

T0, 1, 2, 3: ある区間を通過

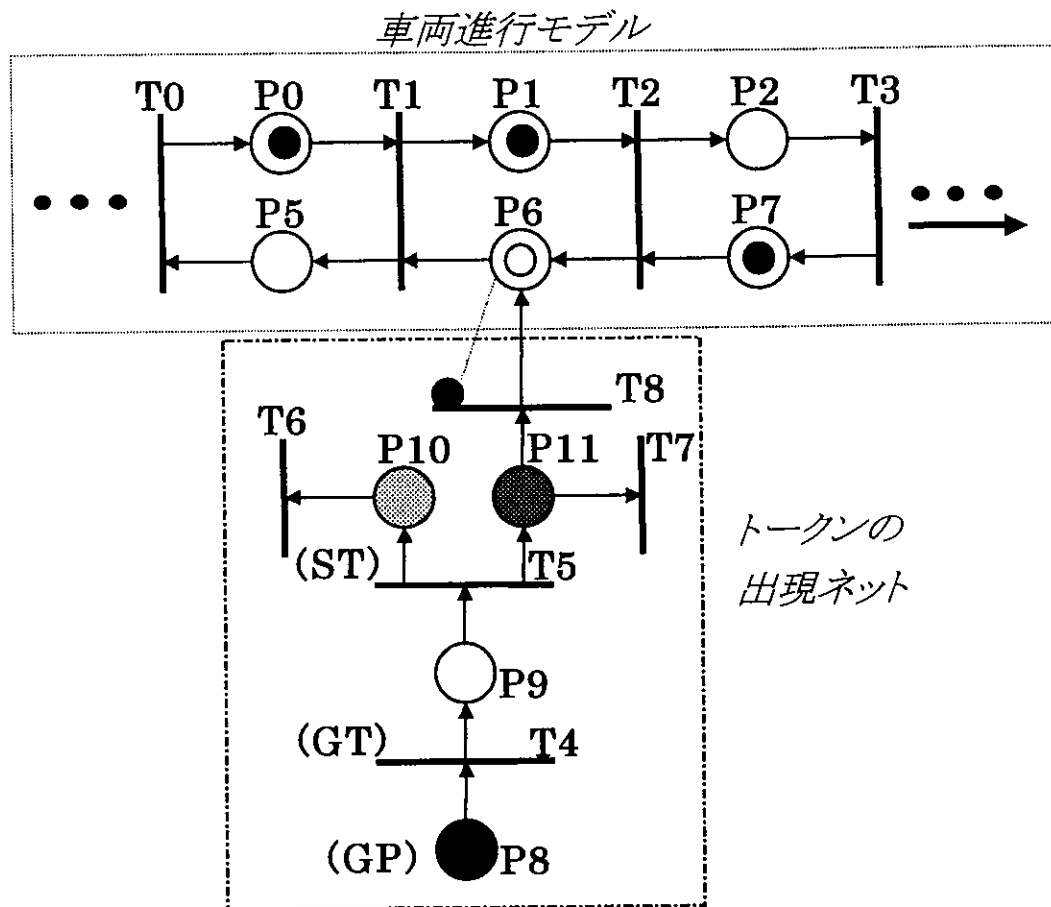
T9: 事故要因の発生

(プレースの説明)

P0, 1, 2: 車両の存在を表キプレース    P5, 6, 7: 閉塞区間の空きを表キプレース

P8: 事故遠因の発生(発生プレース)

図 2-7 トークンの出現ネット



(トランジションの説明)

T0, 1, 2, 3: ある区間を通過

T5: 制御トランジション (ST)

T8: 事故要因の発生

T4: 事故遠因の発生 (GT)

T6, 7: 事故遠因の消滅

(プレースの説明)

P0, 1, 2: 車両の存在を表すプレース

P5, 6, 7: 閉塞区間の空さを表すプレース

P8: 事故遠因の発生 (発生プレース)

P9: 制御プレース

P10: 事故遠因の消滅プレース

P11: 事故要因の制御プレース

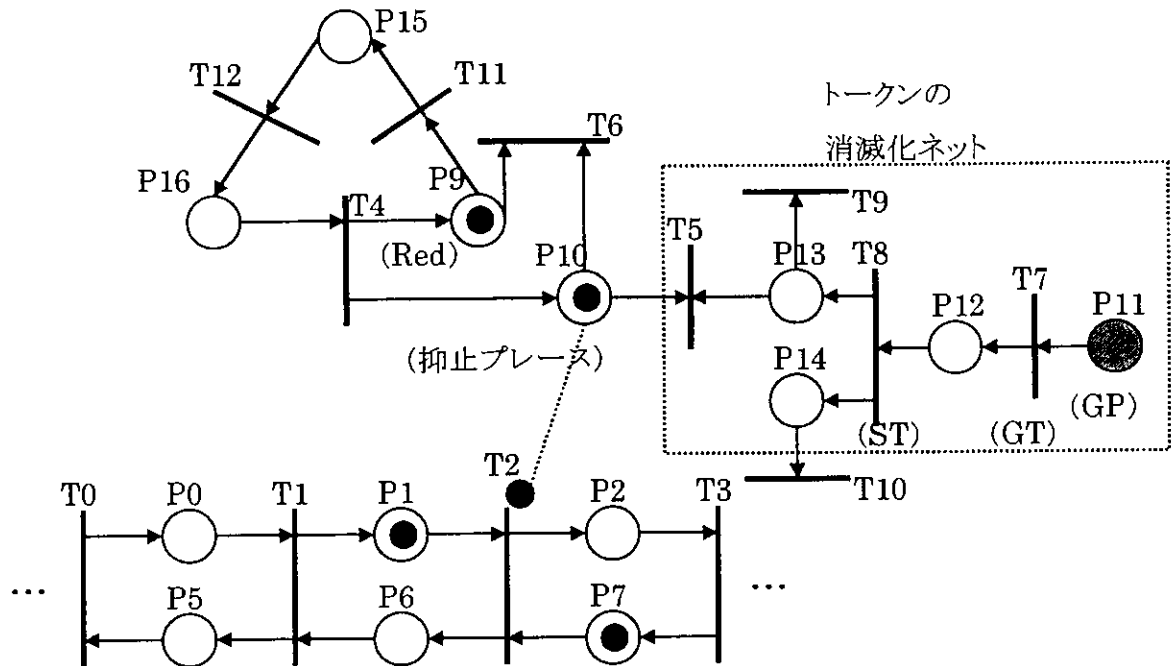
図 2-8 トークンの出現ネット

●P6 のトークンの消去のために P13 に設定される破綻継続時間:  $t$  (秒)  
 の 3 種類である。これらの設定値が大きいほど自律型安全確保機構の破綻化率は高くなり、追

突事故リスクも大きくなるといえよ

## ② トークンの消滅化ネットの作成

図 2-9 は、信号制御の強制型安全確保機構に対するトークンの消滅化ネットを示したものである。



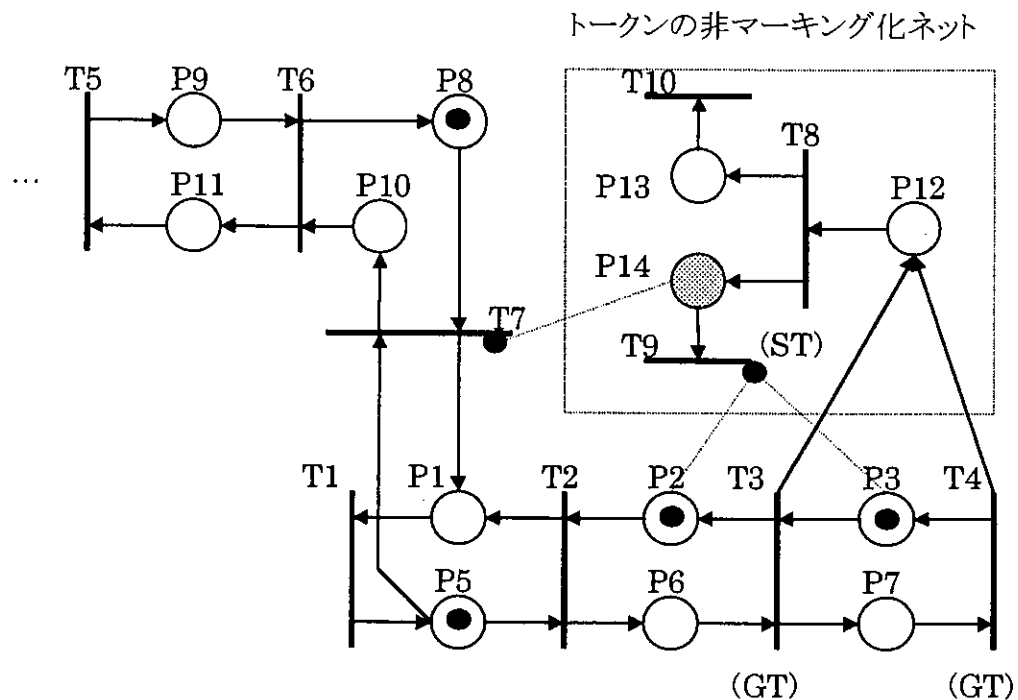
### (トランジションの説明)

- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| T0, 1, 2, 3: ある区間を通過 | T4: 黄から赤信号に変化      |
| T5: 制御トランジション        | T6: 抑止の消滅          |
| T7: 信号崩壊の遠因発生 (GT)   | T8: 制御トランジション (ST) |
| T9: 信号崩壊の要因の消滅       | T10: 信号崩壊の遠因の消滅    |
| T11: 赤から青信号に変化       | T12: 青から黄信号に変化     |

### (プレースの説明)

- |                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| P0, 1, 2: 車両の存在を表すプレース     | P5, 6, 7: 閉塞区間の空さを表すプレース |
| P9: 赤信号を表すプレース             | P10: 抑止プレース              |
| P11: 信号崩壊遠因の発生プレース         | P12: 制御プレース              |
| P13: 信号崩壊要因の存在を表すプレース      |                          |
| P14: 信号崩壊要因が成立しないことを表すプレース |                          |
| P15: 青信号を表すプレース            | P16: 黄信号を表すプレース          |

図 2-9 トークンの消滅化ネット



(トランジションの説明)

T0, 1, 2, 5, 6, 7: ある区間を通過

T8: 右折抑止要因の発生 (ST)

T3, 4: ある区間を通過 (GT)

T9: 右折抑止要因の消滅

T10: 非右折抑止要因の消滅

(プレースの説明)

P1, 2, 3, 8, 9: 車両の存在を表すプレース

P5, 6, 7, 10, 11: 閉塞区間の空さを表すプレース

P12: 制御プレース

P13: 非右折要因の存在を表すプレース

P14: 右折要因の存在を表すプレース

図 2-10 トークンの非マーキング化ネット

このネットでも点線で囲んだトークンの消滅ネットの右端の P11 が発生プレース (GP) で、T7 がカラートークンの生成トランジション (GT) である。

T8 の選択トランジション (ST) は、トークンの消滅カラーの場合はプレース P13、そうでなければ P14 に出力する。このネットでは、消滅カラーが生成されない時には、P10 のトークンは赤信号現示に対応する P9 のトークンと全く同じ動きをし、強制型安全確保機構として機能する。即ち、T2 の発火を赤現示中抑止する。しかし、赤現示時に P13 にトークンが出力されれば、T5 の発火入力条件が成立し、このトランジションが発火するために P10 の方のトークンが消滅し、車両進行のトランジション T2 への抑止は無効となる。その結果、安全確保機構が崩壊し、前出

の 2-6(2)のような事態が発生することになる。

### ③ 強制型安全確保機構のトークンの非マーキング化

前述したように強制型安全確保機構は、抑止ブレースに正常にトークンがマーキングされて始めて機能する。このマーキングが阻害されれば、この安全機構はやはり崩壊する。そのネット例を図 2-10 に示す。

この図は、図 2-6(3)のイメージをもとに構築したネットモデルで、ブレース P8 にマーキングされている右折車両が、ブレース P3, P2, P1 と下方のネット上を右方から進行してくる対向直進車両に対して車間距離を確保して、P1 に進行するという右折抑止のペトリネット図である。自律型安全機構だけでは、T7 と T2 が同時に発火する可能性があり、その時には P1 で右折車両と対向直進車両とが衝突することになる。このことを防ぐために、P3, P2 に車両が存在するときには、P14 にトークンがマーキングされ、P14 から抑止アークを T7 に伸ばすという強制型安全確保ネットを採用している。

即ち、対向直進車両の存在を表わすブレース P2, P3 に車両が存在するとき、P14 にトークンが正常にマーキングされれば、右折は抑止され、衝突は発生しないが、この抑止ブレース P14 にトークンが正常にマーキングされなければ、T7 と T2 の同時発火による衝突事故のリスクが発生することになる。点線で囲んだネットでは、まず、車両進行の側のトランジション T3, T4 をカラートークン生成トランジション(GT)とし、T8 を選択トランジション(ST)とし、トークンが P14 と P13 に出力される可能性を組み入れることで、抑止ブレースへのトークンの非マーキングネットを構成している。

## 2-4 追突事故シミュレーションネットの構成と実行確認

2-3 では、2つの安全確保機構の破綻化ネットの作成を試みた。その中で自律型安全確保機構は、“トークンの出現ネット”を結合化することによって、complement なマーキング関係が破綻し、追突事故が発生する可能性が生まれる。本節では、地震動の作用といった極端なケースを想定し、図 2-8 に示したこの型のネットを用いて、追突事故リスク内在型のシミュレーションネットを構成し、その駆動性の確認と事故率の算出実験を行う。

図 2-5 の(2)に示したように、自律型安全確保機構が破綻し、事故が発生した場合には、ある“車両の存在”を示すブレースに 2 つのトークンがマーキングされる。このように事故発生の確認は、ペトリネットシミュレータの長所であるネットの視覚性によって行うことができる。しかし、事故率の算出には繰り返しシミュレーション実施が必要であり、ネット上のこの事故状態を自動検出する工夫が必要となる。ペトリネットシミュレータの場合には、この検出もネットを付加して行うことになる。この部分のネットについてまず説明する。

前述したように、われわれは、交通流の基本部分ネットモデルの 1 つとして、“横断歩行者の部分ネット”を既に開発している。この横断歩行者のネットでは、歩行者信号が赤のときに到着

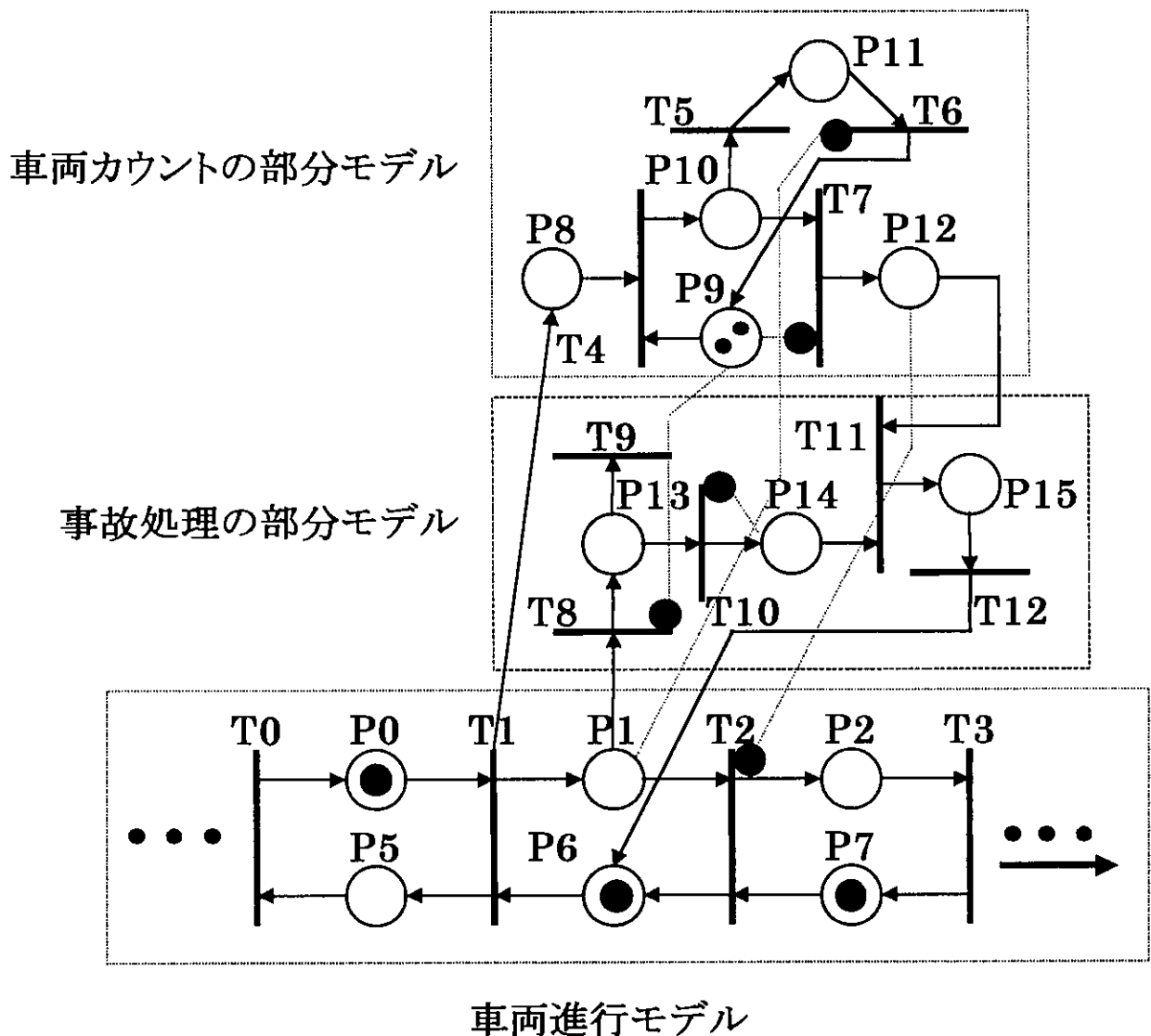


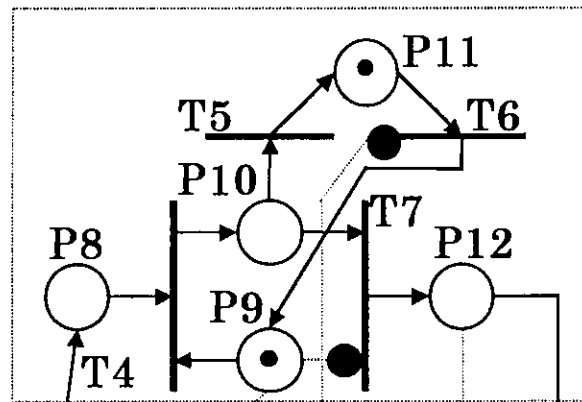
図 2-11(1) 事故カウンターネット

した人（トークン）をある人数単位で集団化させている。このカウントの部分で事故発生を認知する制御部分に応用できる。また、事故発生後に 1 つのプレースに 2 つマーキングされているトークンを抜き取り、事故が発生した閉塞区間の“空き”を表わすプレースに改めてトークンを 1 個マーキングし、元の正常な complement なマーキング状態に戻すことで、シミュレーションの実行の継続を可能にする形でこのネットを開発する。

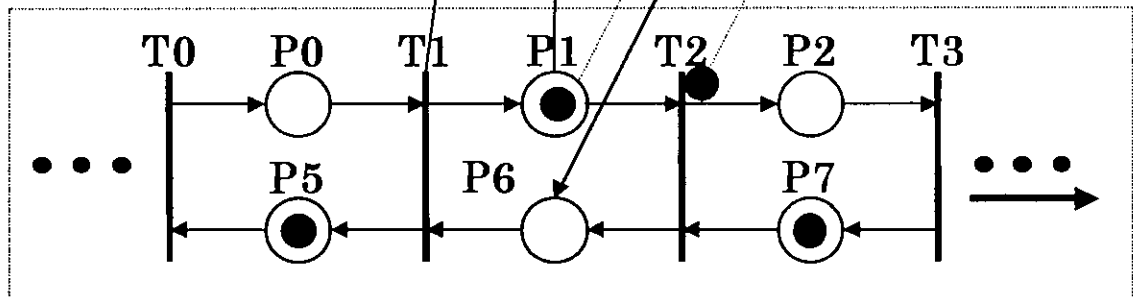
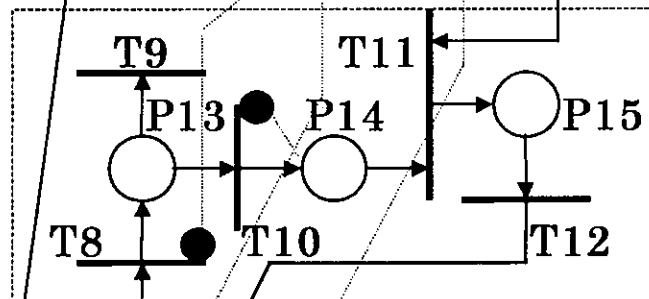
図 2-11(1)は、最下段には、既存の車両進行の部分ネット、最上段に P1 の区間に存在する車両の数をカウントし、事故発生を検出する部分ネット、そして中段に最上部のネットで事故発生が確認されたときに作動して、車両進行の部分ネット状態を元に戻す制御部分ネットを配置している。

最上段の事故認知の部分ネットについて、まず、事故の起こっていないケースの挙動説明を行

車両カウントの部分モデル



事故処理の部分モデル



車両進行モデル

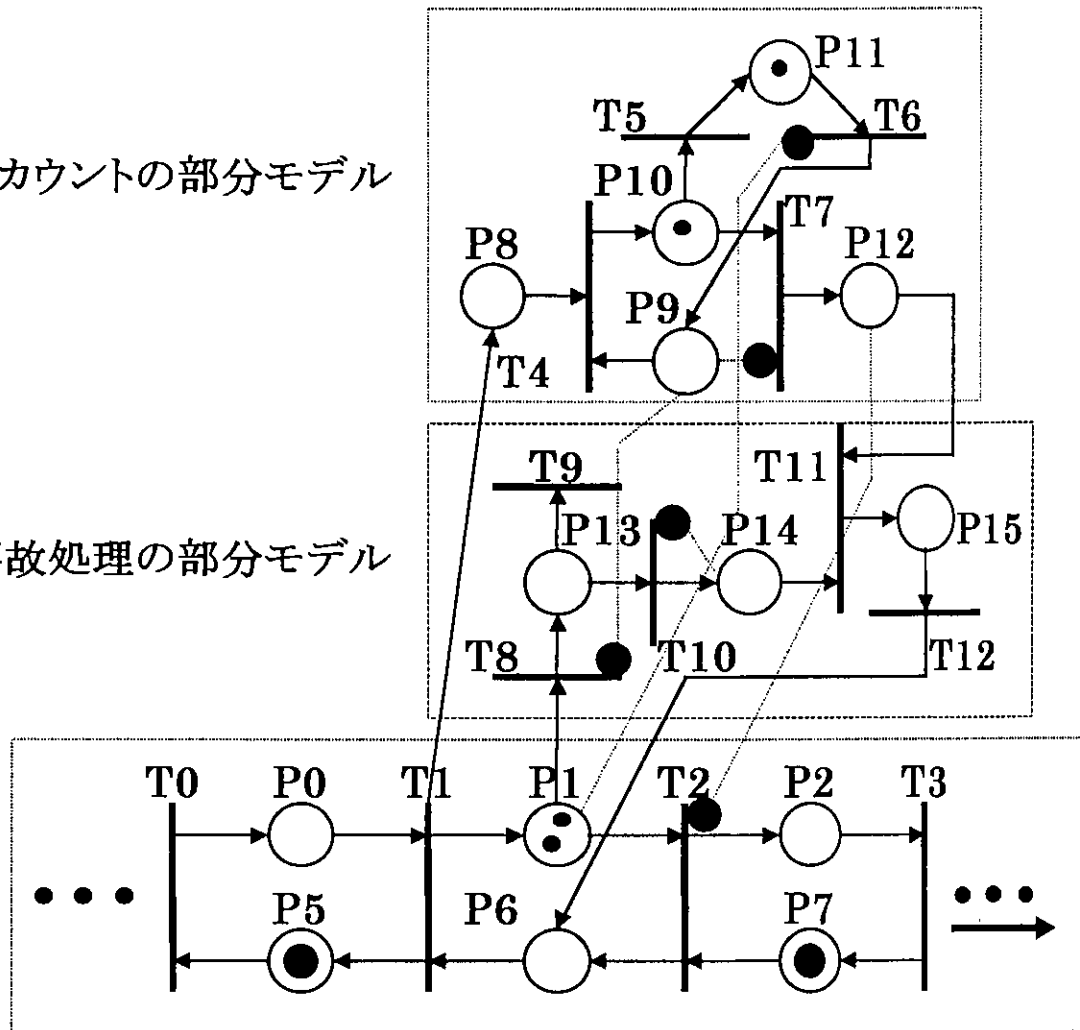
図 2-11(2) 通常時カウンター

う。この図のプレース P9 は P1 の区間に存在する車両の数をカウントするためのもので、シミュレーションの初期段階に 2 つのトークンを初期配置してある。そして、T1 が発火すると、P8 の制御プレースにトークンがマーキングされ、それと同時に T4 のトランジションの発火が成立する。トランジション T4 の発火によって、P9 のトークンが 1 つ消え、プレース P10 にトークンが 1 つマーキングされる。このとき、P9 のプレースに残ったトークンによってトランジション T7 は抑止され発火せず、その代わりにトランジション T5 の方が発火して、プレース P11 にトークンをマーキングする。この状態を示したのが図 2-11(2)である。

この図では、車両の存在を表わすプレース P1 から T6 への抑止が作用しており、P1 のトークンが消えるまで、つまり、P1 の区間に存在する車両が P2 の区間に進行するまで、P11 にマーキングされたトークンはトランジション T6 を発火させることができない。P1 のプレースにマ

車両カウンターの部分モデル

事故処理の部分モデル



車両進行モデル

図 2-11(3) 事故発生時カウンター

ーキングされていたトークンが P2 へ推移すると、この抑止は外れて、トランジション T6 が発火してプレース P9 にトークン移り、初期配置の 2 個に戻ることになる。以後、事故が発生しない限り同じことを繰り返すネットとなっている。また、この場合には中段の事故状態処理制御ネットは、P9 のトークンによる T8 の抑止によって作動しない。

次に事故が発生した場合の挙動について説明を行う。事故は、P1 の区間に車両が存在するときに、再び T1 のトランジションが発火する場合である。具体的には、1 台目の車両がトランジション T1 を発火させて P1 の区間に進入してくると、図 2-11(2)の状態になる。この状態のときに、再び車両進行トランジション T1 が発火（追突事故が発生）すると、やはり P8 にトークンがマーキングされ、P9 のプレースに残されているトークンとでトランジション T4 を発火させ、P9 のトークンは全て消えて、プレース P10 にトークンが出力される。この状態を示したのが図 2-

11(3)である。

この図が示すように、まず、P9 にマーキングされていたトークンは1つも無くなり、トランジション T7 への抑止もはずれる。その結果プレース P10 のトークンがトランジション T7 を発火させ、プレース P12 へトークンが出力される。これと同時に中段の事故処理ネットが作動する。即ち、プレース P9 からトランジション T8 への抑止も外れ、P1 にマーキングされた2つのトークンは、T8 を次々と発火させ、プレース P13 にトークンが2個マーキングされてくる。2つのトークンのうち、1つはトランジション T10 の発火でプレース P14 に推移するが、このプレースから T10 へ抑止アークが伸びているので、P13 に残ったもう1個のトークンの方は T9 の方の発火で消滅する。

この段階で P12 と P14 にトークンがマーキングされるので、トランジション T11 の発火条件が成立する。T11 が発火すれば、プレース P15 にトークンがマーキングされる。このトランジション T11 の発火を調べることによって事故発生をカウントすることができる。この計測は、交通流のペトリネットシミュレータの focus data の設定を、通過台数の計測と同形式を用いてトランジションを指定することで実行される。

この P15 のプレースには事故処理時間をプレースタイマとして与えることができる。この利用法は、2-5 の応用事例で述べる。このタイマが切れるとトランジション T12 が発火し、閉塞区間が“空き”を表わすプレース P6 にトークンがマーキングされる。この P6 へのトークンのマーキングによって、この区間のプレースの complement 関係が回復し、通常状態でシミュレーションが続行できるようになる。

最後に、図 2-8 の“トークンの出現”ネットと、ここで示した図 2-11 の事故発生のカウント処理ネットとを、単路部での車両走行のシステムネットに結合化させ、既開発の交通流のペトリネットシミュレータでの駆動を試みる。図 2-12 が、この試みで使用する具体的な結合化事故リスクシミュレーションネットである。これは、閉塞区間長を 6.7m とし、約 127m（閉塞区間数 19）の単路部の車両進行ネットに、左端に到着ネットを、約 100mの地点に自律型安全確保機構の破綻化ネットを1個と、事故処理ネットとを結合したものである。このネットを用いて、交通量（図 2-12 のネットの発生プレース 2 の設定値）を、5 台/分、10 台/分、20 台/分と変えて事故シミュレーションを実施した。また、図 2-8 のネットのパラメータについては、T4 に設定するとした破綻化カラーの生成率は 50%に固定し、P8 に設定するとした事故遠因の発生率は、平均発生間隔を 6 秒/個、10 秒/個、30 秒/個と変化させ、p13 に設定するとした破綻化の継続時間も、2 秒と 4 秒に変化させることとした。

まず、図 2-12 の結合ネットは、既開発の交通流のペトリネットシミュレータでそのまま実行可能で、図 2-12 そのものを表示画面とする CRT 上、でプレース 19 にトークンが2個マーキングされ、事故処理ネットが作動し、complement 関係に戻り、シミュレーションが継続されることを視覚的に確認した。また、前述した focus data の設定による計測も変更なしで行うことができた。

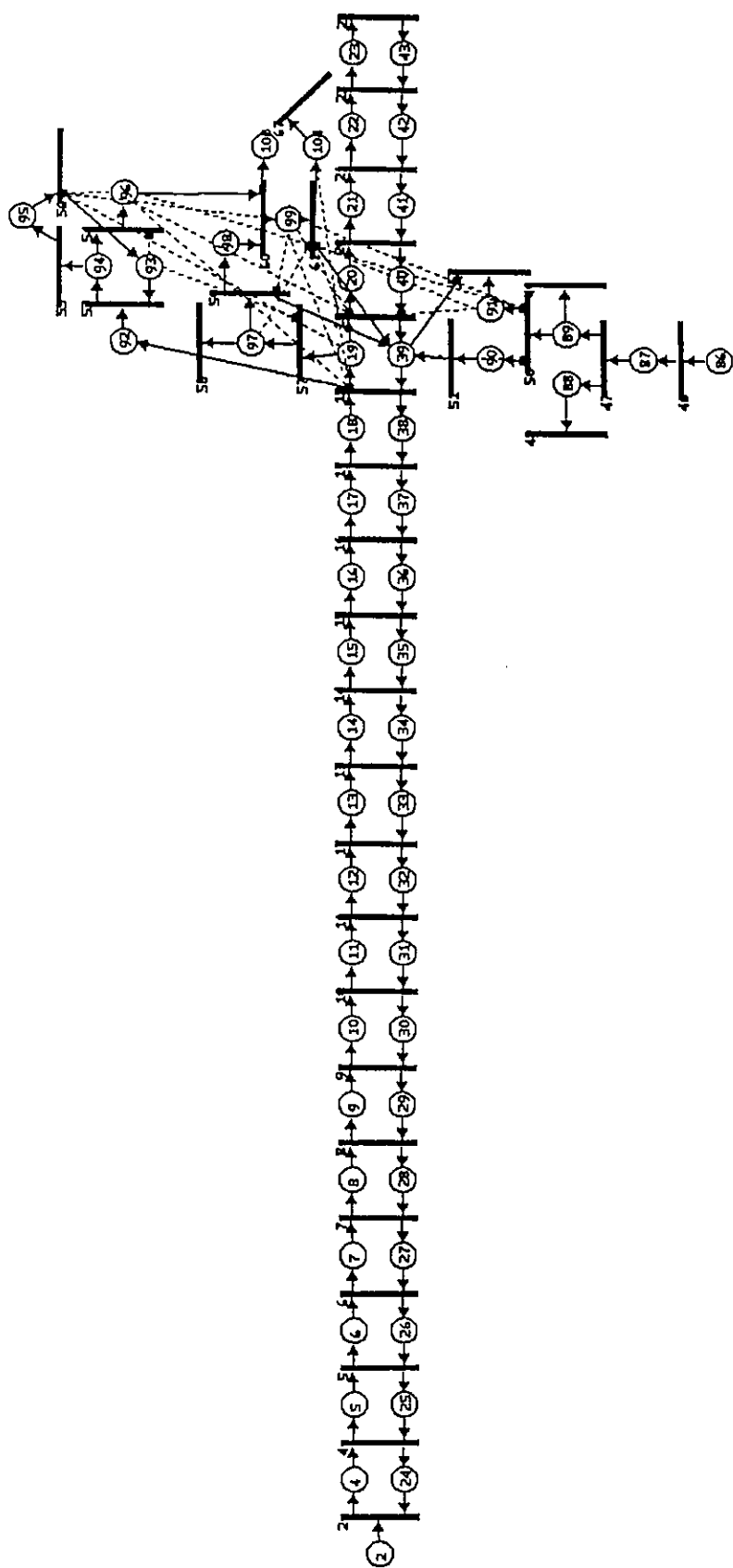


図 2-12 追突事故内在型の単路部ネット

表 2-1 交通量が 5 台/分のケース

| 事故原因の発生間隔 | 事故発生回数     |            |
|-----------|------------|------------|
|           | PT=2 (sec) | PT=4 (sec) |
| 6 (秒/個)   | 2 回        | 2 回        |
| 10 (秒/個)  | 1 回        | 1 回        |
| 30 (秒/個)  | 0 回        | 0 回        |

表 2-2 交通量が 10 台/分のケース

| 事故原因の発生間隔 | 事故発生回数     |            |
|-----------|------------|------------|
|           | PT=2 (sec) | PT=4 (sec) |
| 6 (秒/個)   | 3 回        | 5 回        |
| 10 (秒/個)  | 4 回        | 3 回        |
| 30 (秒/個)  | 3 回        | 3 回        |

表 2-3 交通量が 20 台/分のケース

| 事故原因の発生間隔 | 事故発生回数     |            |
|-----------|------------|------------|
|           | PT=2 (sec) | PT=4 (sec) |
| 6 (秒/個)   | 20 回       | 25 回       |
| 10 (秒/個)  | 8 回        | 10 回       |
| 30 (秒/個)  | 5 回        | 6 回        |

次に、表 2-1～表 2-3 に各ケースで計測された事故発生回数の結果を示す。交通量が 20 台/分、時間交通量にして 1200 台と多い場合には、事故リスクパラメータの設定値が理論通りに作用する結果となったが、10 台/分（600 台/時）、5 台/分（300 台/時）と少なくなると、今回の各 1 回というシミュレーションでは明確な傾向は確認できなかった。

図 2-13 では、シミュレーション結果をリスクポテンシャルとの関連で整理することを試みたものである。2-3 の節で述べたように、図 2-8 のネットには、3 つのパラメータが設定可能で、クポテンシャルは、それらのいずれの値に関しても増加関数となる

$$\gamma = f(\lambda, \alpha, t)$$

という関数形で定義できるだろう。今回の全てのシミュレーションケースで  $\alpha = 50\%$  として固定しており、 $\lambda$  と  $t$  の関数で、一応の説明が可能なものとして、図 2-13 では、横軸を

$$\gamma = \lambda^2 \times t$$

としてグラフ化している。

この場合、交通量が少ないときは、事故回数は  $\gamma$  に対してほぼ一定となり、偶発的となっているが、交通量が多いときには地点のリスクポテンシャルとともに増大し、 $\gamma = 0.04$  で急増する結果となった。これは追突事故という相手車両の存在が関係する形態から納得のいく結果ともえる。

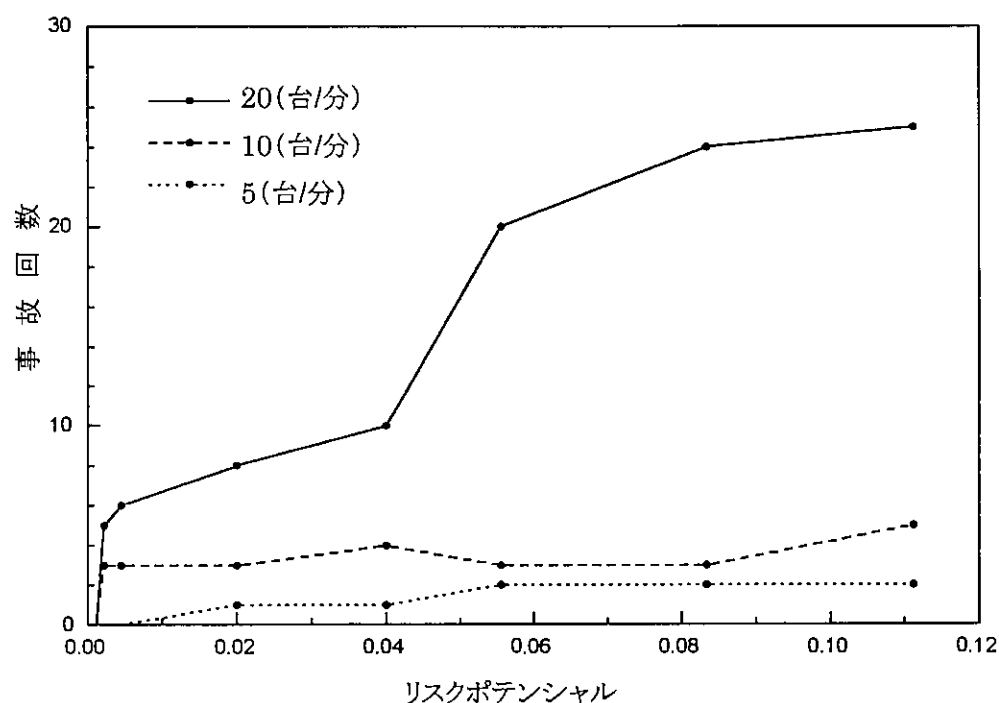


図 2-13 事故シミュレーション結果の説明性

## 2-5 事故シミュレータの応用事例

前節では、交通流のペトリネット型シミュレータで、追突事故リスクのシミュレーションが一応は可能となることを示した。ここでは、事故が発生すれば当然交通流に大きな影響が出るが、その分析への応用性について検討する。

まず、図 2-14 に示すような片側 2 車線の道路を想定し、その単路部での事故発生（ケース①）、信号交差点手前での事故発生（ケース②）、および交差点先での事故発生(ケース③)のそれぞれについてシミュレーション実行を試みる。なお、この交差点は、この片側 2 車線道路に片側 1

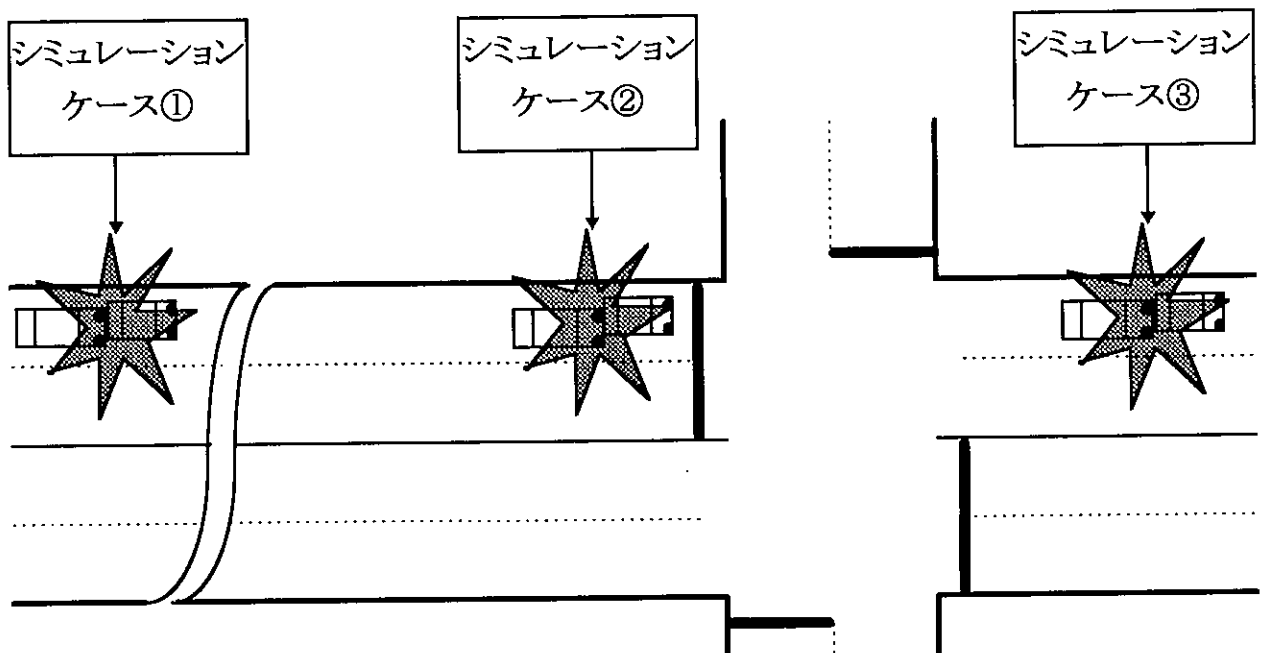


図 2-14 事故発生ケースのイメージ図

車線道路が交差しているとし、さらに、図 2-14 の左方向からの直進交通流とし、これへの影響は、上方向からの交通流が卓越しているとし、それらの部分交通のみを組み入れる。

図 2-15(1),(2),(3)に、これらの各ケースでの交通流のシステム記述ネットを示す。図 2-15(1)は、2-4 節で使用した図 2-13 のネットを基に、ペトリネット方式の特徴である結合性を活用し、2 車線での事故内在化ネットに拡張化したものである。このネット図では、事故は路肩側レーンで発生するとしている。まず、車両進行のネットを 2 レーン分併置し、その路肩側レーン(図では上部ネット)に事故ネットを結合する。換言すれば、図 2-13 と同じネットとなる。

事故が発生すれば、路肩レーンを走行してきた車両は、中央レーンへと車線変更する。この地点を事故発生の閉塞区間の直前として、車線変更の部分ネットで両者を結合化する。図 2-15(1)の中央部の 2 つのトランジションは、中央レーンへのこの車線変更と路肩レーンへの復帰を意味する。ここでは車線変更は、中央レーン側に 3 閉塞区間分のギャップが発生したときに可能としている。

図 2-15(2)は、交差点手前での事故発生を想定したネットで、図 2-15(1)のシステムネットに、信号制御の部分ネットを結合するだけでよい。図 2-15(2)の右上方のネットが信号ネットである。現示は、青・黄・赤とし、赤現示プレースである 103 から、2 つのレーンの車両進行ネットで交差点進入を示すトランジションそれぞれに抑止アークを伸ばす形で結合している。このネット図では、事故発生は交差点進入線手前ということになる。

図 2-15(3)は、信号交差点の先での事故ケースである。信号ネットの結合位置を中央にし、さらに 2 車線道路と直交する片側 1 車線道路の走行ネットを結合している。直交道路を走しる車

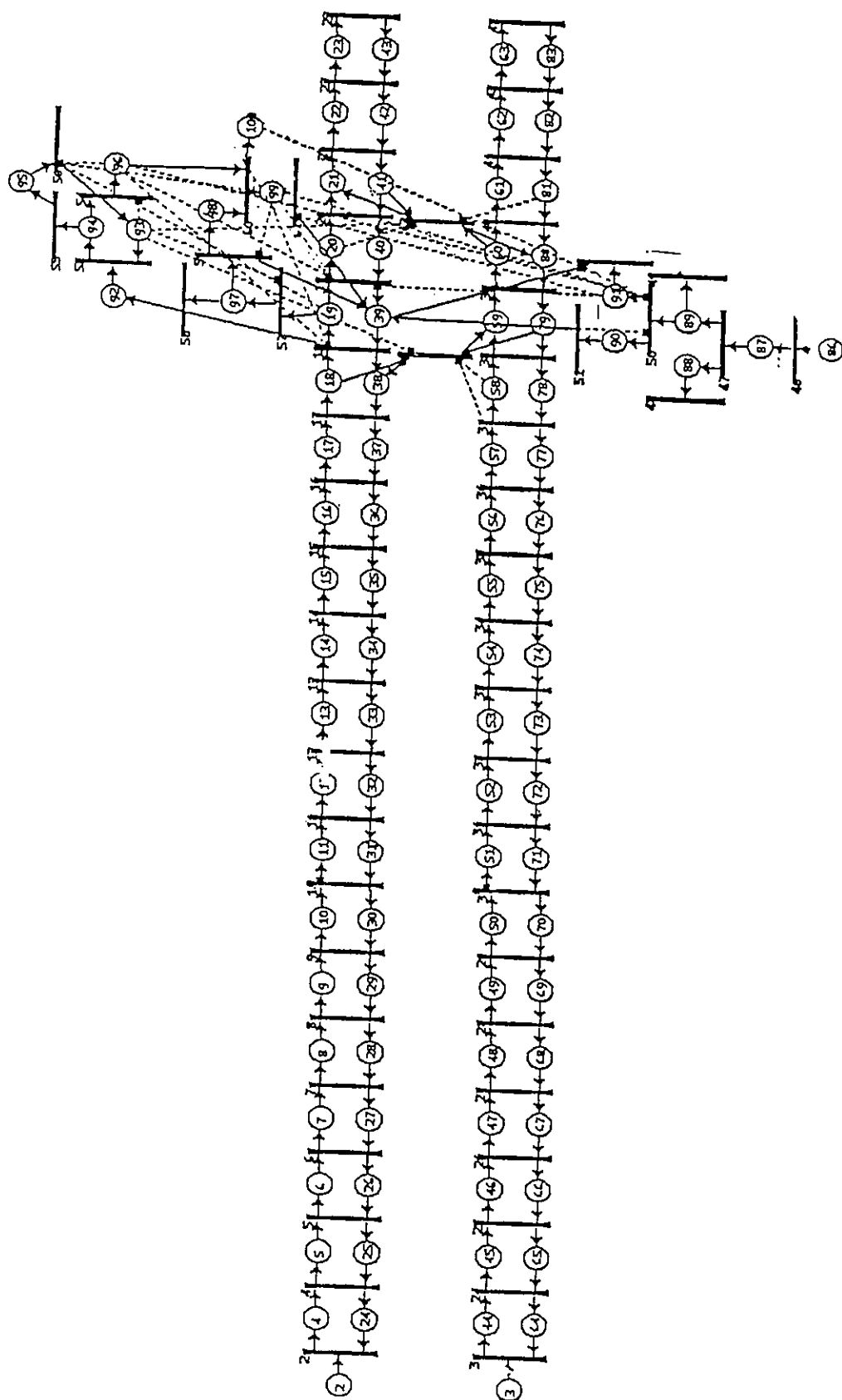


図 2-15(1) 単路部での事故発生ケースのシステムネット

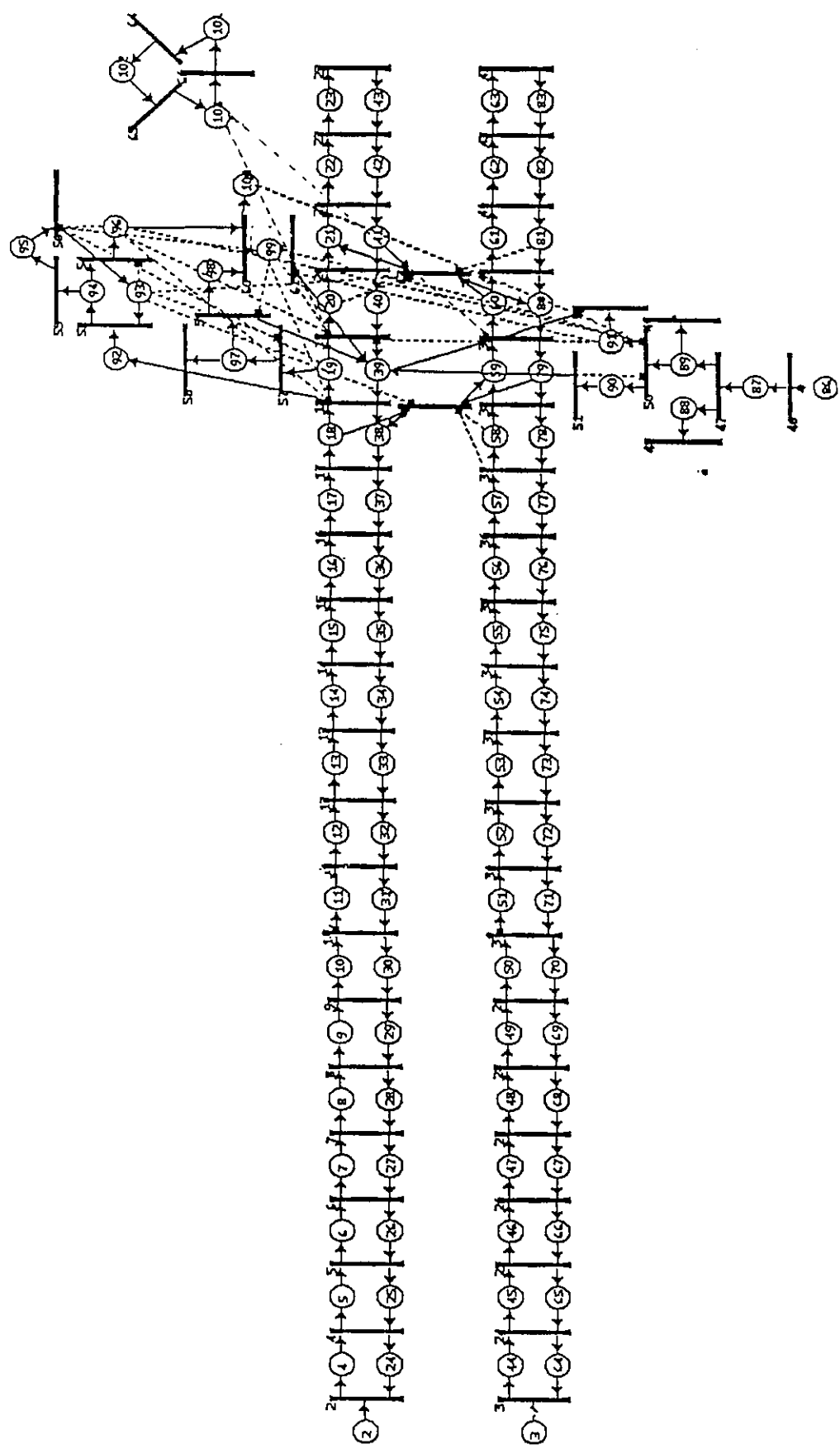


図 2-15(2) 交差点手前での事故発生ケースのシステムネット

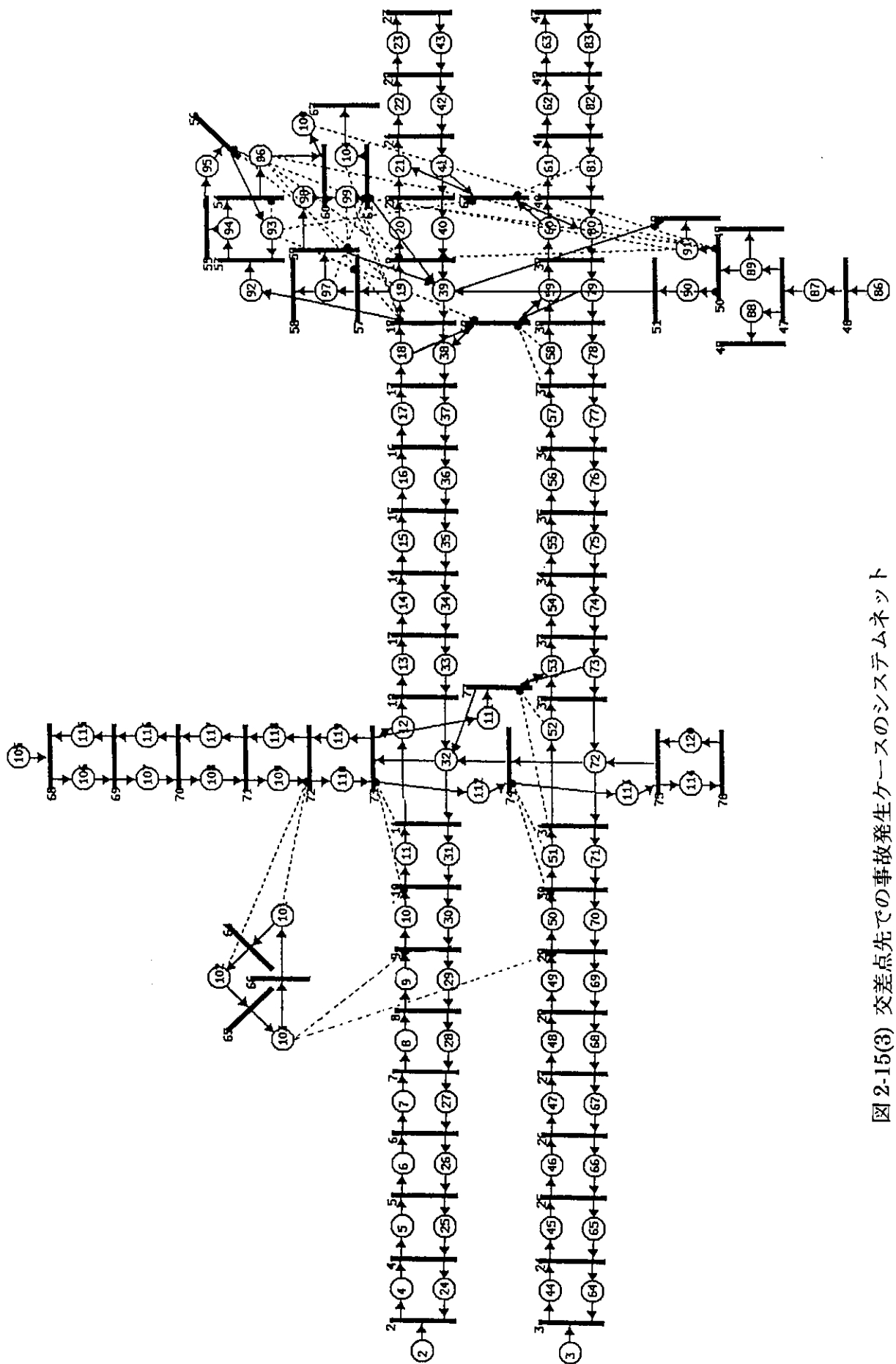


図 2-15(3) 交差点先での事故発生ケースのシステムネット

表 2-4 事故シミュレーション条件の基本形

|             |     |                        |
|-------------|-----|------------------------|
| シミュレーション時間  |     | 1200 秒 (20 分)          |
| 車両の発生台数     | 路肩側 | 20 (台/分)               |
|             | 中央側 | 20 (台/分)               |
| 事故原因の発生間隔   |     | 3 (秒/個) < 300 秒後から発生 > |
| 事故抑止側：事故発生側 |     | 50 : 50                |
| 事故原因の顕在時間   |     | 10 秒                   |
| 事故処理時間      |     | 120 秒                  |

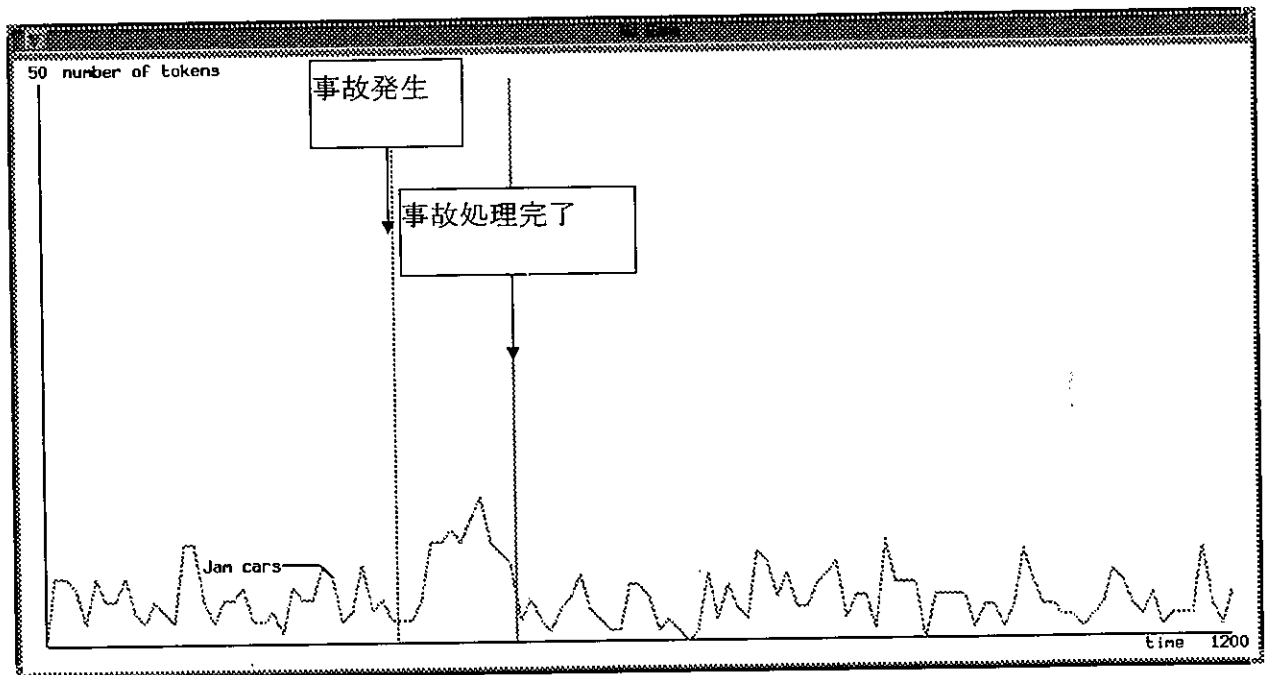


図 2-16(1) 単路部での事故に伴う渋滞シミュレーション結果

両については、上方向から下方向の交通流のみを考え、直進（プレス 112）、左折—中央レーン（プレス 111）、および左折・路肩レーン（プレス 12）に分流するとし、3 種類のカラートークンを生成している。

シミュレーション条件は表 2-4 を基本とする。事故処理時間は、2-4 節で述べたように、事故処理ネットのプレースタイマとして設定するが、ここではいずれも 120 秒と軽微な事故としている。まず、図 2-16(1)が、単路部での事故発生ケースでの渋滞シミュレーション結果である。このグラフは、横軸がシミュレーション経過時間で、縦軸は、図 2-15(1)に示した別肩側のネット図において、発生プレスから事故発生の手前プレスまでに存在する車両数を示している。

事故発生から処理完了までの間は増大するが、大きな混乱は発生しない。図 2-16(2)は、信号交差点手前での事故ケースである。このシミュレーションでは、青(45 秒)、黄(5 秒)、赤(30 秒)としている。図中の縦線はこの信号の切り替わり時点を示している。事故は、黄に切り替わる直前に発生している。そして、青直後に処理が完了していることが判る。ここでも事故処理中は渋滞が発生するが、完了後は回復する結果となっている。

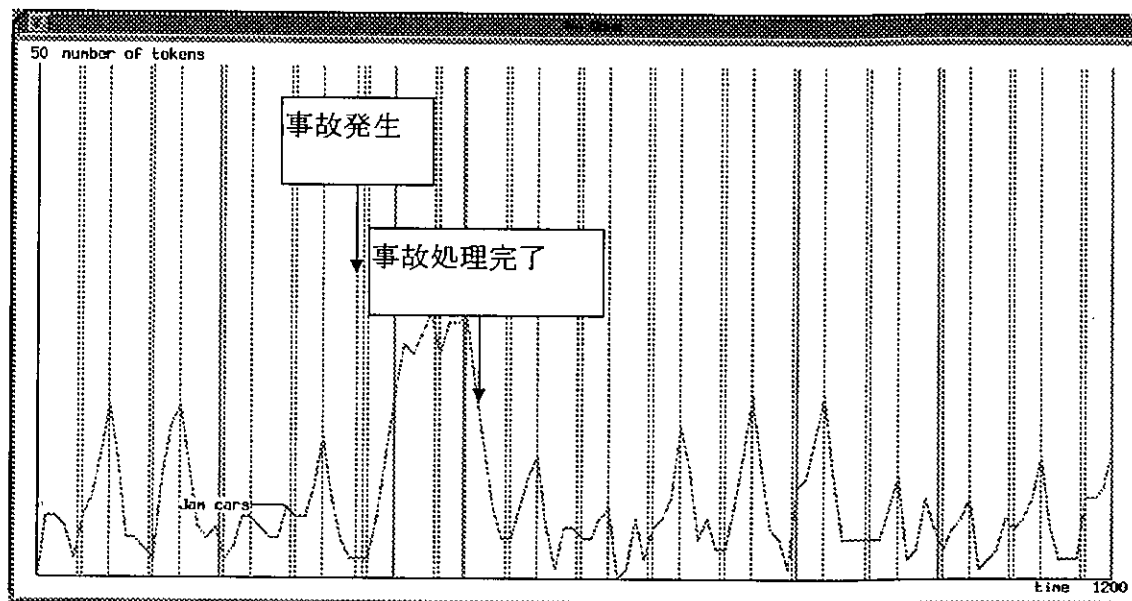


図 2-16(2) 交差点手前での事故に伴う渋滞シミュレーション結果

最後に、信号交差点での事故ケースの結果を図 2-16(3)に示す。ここでは、直交道路に関するパラメータ設定が必要となるので、表 2-5 に一括して示す。直交道路の上方からの交通量は 15 台/分と主道路より少ない想定とし、直進・左折一路肩・左折—中央の比率を、30 : 40 : 30 としている。信号現示は、主道路の現示を考えて、青(25 秒)、黄(5 秒)、赤(50 秒)とした。図 2-16(3)には、主道路の路肩レーン (jam cars) と直交側道路での渋滞長を示している両方で大きな差がでている。即ち、主道路側は、他の 2 ケースに比べれば事故処理完了後にも影響が残れるが、その影響は直交道路側の方がはるかに大きなものとなっている。この結果は、直交流の交通流が 900 台/時と普通であるが、左折率が 70%と高く、1 レーンであること、さらに信号サービス率が 38%と低いことによる。このようなケースでは、事故直後には、一時的に信号現示を変更するような対応が必要ともいえよう。

表 2-5 交差点先での事故渋滞シミュレーションの設定条件

|                     |     |                                     |
|---------------------|-----|-------------------------------------|
| シミュレーション時間          |     | 1200 秒 (20 分)                       |
| 車両の発生台数             | 路肩側 | 20 (台/分)                            |
|                     | 中央側 | 20 (台/分)                            |
| 事故原因の発生間隔           |     | 3 (秒/個) < 300 秒後から発生 >              |
| 事故抑止側 : 事故発生側       |     | 50 : 50                             |
| 事故原因の顕在時間           |     | 10 秒                                |
| 事故処理時間              |     | 120 秒                               |
| 平行方向の信号 (青 : 黄 : 赤) |     | 45 : 5 : 30 (秒)                     |
| 直交車両の発生台数           |     | 15 (台/分)                            |
| 直交車両の分岐率            |     | 直進 : 左折 (路) : 左折 (中) = 30 : 40 : 30 |

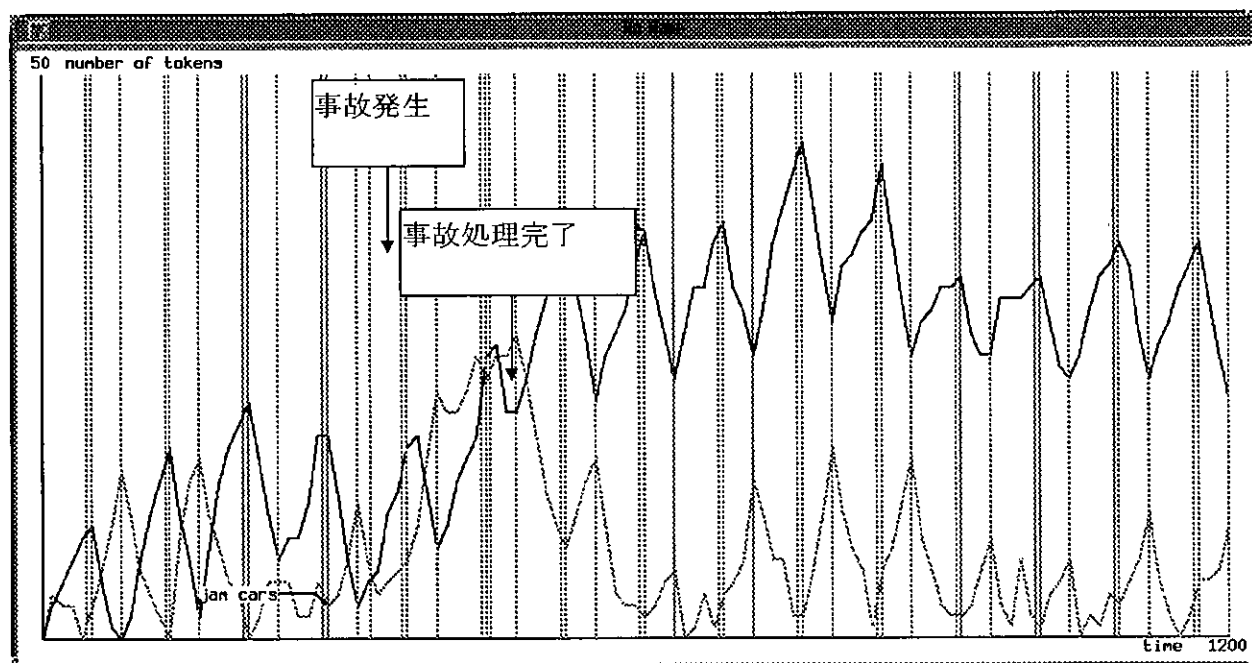


図 2-16(3) 交差点先での事故に伴う渋滞シミュレーション結果

## 2-6 あとがき

本章では、事故シミュレーションの開発が、交通流のペトリネット型シミュレータ上で可能かとそれを結合することで可能となることを示した。具体的には、自律型安全確保機構の破綻によ

る追突事故のシミュレーションネットを、①既開発の単路部の車両走行ネットに②トークン出現による破綻化ネットと、③ネットのトークンマーキングによる事故発生自動検出ネットを結合することで構成した。そして、この 2 つの異質なネットを結合したシステムネットの駆動が交通流のペトリネットシミュレータで可能となることを確認した。また、事故率計算のための繰り返しシミュレーションが、上記③のネットで可能となり、20 台/分と交通量が多い時には、リスクポテンシャルで説明可能な事故率が求められることを示し、事故シミュレーション研究の基礎技術を開発した。

ペトリネット方式の特徴は、ネットがもつ視覚性と結合性にある。そこで、次にこの特長を活用して、事故発生地点を単路部、交差点手前、および交差点先とする事故シミュレーションネットの構成も行った。そして、事故の規模は、上記③のネットで処理時間をプレイステイマとして設定可能となっており、120 秒という軽微な事故でのシミュレーションを実施して、事故の発生位置や信号現示時間の配分によっては長時間の渋滞が発生することを示し、このような応用法をも含む開発方向であることも明らかにした。

課題は、1 つは、交通流のペトリネットシミュレータの本体側での車速更新等の精緻化である。これは、車両の走行速度と車間間隔を通して事故率に大きく影響するものである。いま 1 つは、事故リスクネット側での改良で、ドライバーの行動について、事故因としてのミスの種類と、それらの顕在化のプロセスを記述することと、その逆の事故回避力としてのブレーキングの組み入れ等である。追突事故の場合には、ブレーキングは事故回避要因であると同時に、被追突被害要因としても作用する。この記述が重要となるだろう。

### 第 3 章 追突事故リスク内在型の交通流のペトリネットシミュレータの開発

#### 3-1 まえがき

第 2 章では、交通流のペトリネットシミュレータの上での事故シミュレーションシステムの開発の可能性と展望について論じた。このシミュレータで使用される車両進行の部分ネットは、道路を閉塞区間に分割し、その閉塞区間を“空き”と“車両の存在”というどちらか一方にのみトークンがマーキングされる complement 関係にある 2 つのプレースで表現し、この関係が自動的に維持される自律型安全確保機構によって、追突事故が決して発生することのないものとなっている。また、信号制御や右折車の対向直進車に対する安全確認は、抑止プレースと抑止アークを用い、トランジションの発火を強制的に抑止する強制型安全確保機構で保証している。

まず、この 2 つの安全確保機構を明らかにし、それらが破綻化するとき、追突事故や右折時衝突事故が発生するとし、そのような破綻化ネットとして、自律型安全確保機構に対しては“トークンの出現化ネット”を、強制型安全確保機構に対しては“トークンの消滅化ネット”や“トークンの非マーキングネット”を提示した。そして、ペトリネット方式の長所であるネットの結合性と駆動系の汎用性を活用し、追突事故リスク内在型の交通流のシステムネットを構成し、それが既開発のペトリネットシミュレータで直ちに実行できることを明らかにした。

事故の発生は、視覚的には、ある“車両の存在”を示すプレースに 2 個のトークンのマーキングとなる。事故リスク評価のシミュレーションでは繰り返し計算が必要となる。第 2 章では、そのために、この事故発生状態を自動検出し、カウントするとともに、ネットのマーキング状態を正常化し、シミュレーションを継続するためのネットも開発した。さらに、このネットでは事故処理時間の設定も可能で、このパラメータを利用することで、事故発生場所と事故規模による渋滞予測への応用も可能な方式であるという展望を示した。

第 2 章のシステムネットを用いた追突事故シミュレーション結果は、一応はリスクポテンシャルによる説明が可能ではあったが、現実の追突事故との関連付けについては不十分なものである。第 2 章で使用した自律型安全確保機構の破綻化ネットは、閉塞区間の“空き”を表すプレースにトークンを出現させる。このことは、ドライバーの前方認知ミスの顕在化を意味する。第 1 章の事故研究のフレームの議論では、そこに至るまでのプロセスの記述が重要となるとした。そこで、本章では、まず、ミスを誘発させる要

因の種類とその発生プロセス，それら事故誘因のドライバーによる判断処理プロセス，およびドライバーの追突回避行動としてのブレーキングのプロセスを組み入れたドライバー系の部分ペトリネットを開発する．次に，このネットと，第2章で開発した事故の自動検出と正常化ネットとを，車両走行ペトリネットに結合化させ，追突事故リスク内在型シミュレータのプロットタイプを提案する．そして，追突事故リスクに直接影響する最小車間間隔に関連する閉塞区間長の設定化と，走行速度を規定する加速希望の確率化の面で改良を加えた Windows 版の交通流ペトリネットシミュレータを用いて，追突事故リスクの相対評価シミュレーションを実施し，本方式による事故シミュレーション研究の可能性と今後の課題を明らかに考察する．

### 3-2 ドライバー系の部分ペトリネットの開発

#### (1) 事故要因の考察

自動車事故に係わる要因は，第1章で述べたように，より直接的な運転系・道路系・車両系と，それらを取り巻く自然・社会環境系に分類できる．その中でも運転系のみを要因とする事故が65%と多く，それに道路系が絡むものを加えると90%に達するともいわれている<sup>6),7)</sup>．運転系を中心に統計分析や事故研究を整理すれば，表3-1のようになる．

まず，ドライバー関連では，若者と高齢者の事故率が高く，性別では男性の方が高い<sup>9)</sup>．年平均走行距離も事故率との相関性の高い要因とされ<sup>8)</sup>，ある意味でドライバー・ミス発生 of 不可避性を示唆している．交通ルール遵守の態度も規定要因となるが，年齢要因が加わるとその寄与率は低下するとされる<sup>10)</sup>．このことも，逆の形で上述の不可避性仮説を支持するものと言える．

表 3-1 事故要因の整理

| リスク要因                             | 特記                        | 作用関係 |
|-----------------------------------|---------------------------|------|
| ドライバー<br>年齢<br>性別<br>平均走行距離<br>態度 | 若年 — 高齢<br>男性<br>長<br>非遵守 |      |
| 道路<br>危険地帯                        | 有                         |      |
| 環境<br>季節・天候<br>時間帯                | 有<br>夜                    |      |
| 外部<br>携帯電話                        | 有                         |      |



表 3-2 リスクシミュレーションの設定パラメータ

|                   |  |
|-------------------|--|
| シミュレータ本体          |  |
| 閉塞区間長 (最小車間間隔)    |  |
| タイマ更新表            |  |
| 最高速度・加速性能・発進遅れ    |  |
| 交通量と発生パターン        |  |
| 平均発生率 (台 / 分)     |  |
| ポアソン到着 / 群到着      |  |
| ドライバー特性           |  |
| ミス発生              |  |
| 判断ミス発生率、スリップミス発生率 |  |
| 警戒心               |  |
| 警戒因子発生率と持続タイマ     |  |
| 道路条件              |  |
| 危険認知度の発生率         |  |
| ミス直結因子の発生率        |  |
| 制動性能              |  |
| T 1、T 2 のタイマ値と発生率 |  |

概要を示すと、まず、発生ブレース (p4) からこの地点の危険度に対応した数のトークンが供給され、ブレーキングの判断を行うルート (p6) と、警戒心を生むルート (p21) にトークンが移動する。t6 と t9 は生成トランジションで、この地点が判断ミスに直結する事故誘発因が発生させるほど危険か、ドライバー特性による判断がなされる程度かを区別するカラートークンを生成する。t7 と t10 は選択トランジションで、生成されたトークン・カラーに応じて出力ブレースを選択する。

P9 に出力されれば、事故誘因が発生したことになる。このトークンが t9 を発火させる。次に、t9 で生成された事故誘因トークンは、t10 で選択されて、ミス直結因子となって p20 へのルートに進むケースと、ドライバーの判断ルーチンを経て、p17 のブレーキングか、あるいは p20 のミス発生に進むケースかに分岐することになる。

p11 のトークンで開始される判断ルーチンでは、t11 で生成されたトークンが t12 で p18 に出力されるケースが判断ミスに当たる。正しく判断されたとしても指示ミスを意味するスリップが発生すれば、p16 にトークンが進み、ミスとなりうるというネットである。

一方、t21 は警戒因子の生成を担い、そのカラーが生成されれば、トークンは p24 に進む。そして、上述のミス直結因子や判断ミスやスリップによるミスの顕在化を意味する t17 と t19 の発火を抑止する働きをすることになる。即ち、この p24 に設定する警戒心の持続時間の間に、p18 や p16 のトークンが消滅すれば、ミスは顕在化しないという形で、警戒心を考慮したドライバーネットとなっている。

このネットでは、選択トランジションの数は全て 2 個となっているが、細分化は可能である。その場合は、生成トランジションでの生成カラー数を細分化のレベルに応じて増やし、それに応じた出力プレースを用意すれば良い。このネットで設定可能なパラメータの一覧を表 3-2 に示す。この表の後半の 2 系統のものがそれである。詳細は 3-4 のシミュレーションの実施部で述べるが、まず、t6 に地点の危険度をトークンの発生率として設定し、t9 にリスク直結性の比率を設定することになる。そして、t11 と t13 にはドライバーの判断力を、t22 と p24 にドライバーの警戒心を設定するネットとなっている。

### 3-3 事故リスクシミュレーションネットの構成

#### (1) 車両進行ネットとの結合化ネット

著者らの交通流のペトリネットシミュレータの車両進行ネットでは、図 3-2 の上部に示すように、各閉塞区間を、“車両の存在(-2)”と“空間の空き(-1)”という、通常はどちらか一方のみにトークンがマーキングされる complement 関係にある 2 つのプレースで表現している。そして、当該閉塞区間の“車両の存在”プレースと、前方閉塞区間の“空間の空き”プレースに共にトークンがあるときのみトランジションが発火し、また、発火後もはこの complement 関係が自動的に維持されるネットとなっている<sup>1)</sup>。

換言すれば、車両進行は前方閉塞区間が“空き”のときのみ起き、しかもそのことがネットそのものによって保証されていることになる。第 2 章で述べたように、これが本シミュレータの安全確保機構の 1 つで、自律型と呼んでいるものである。この機構が破綻したとき、即ち、ある閉塞区間で両方のプレースに同時にトークンがマーキングされ

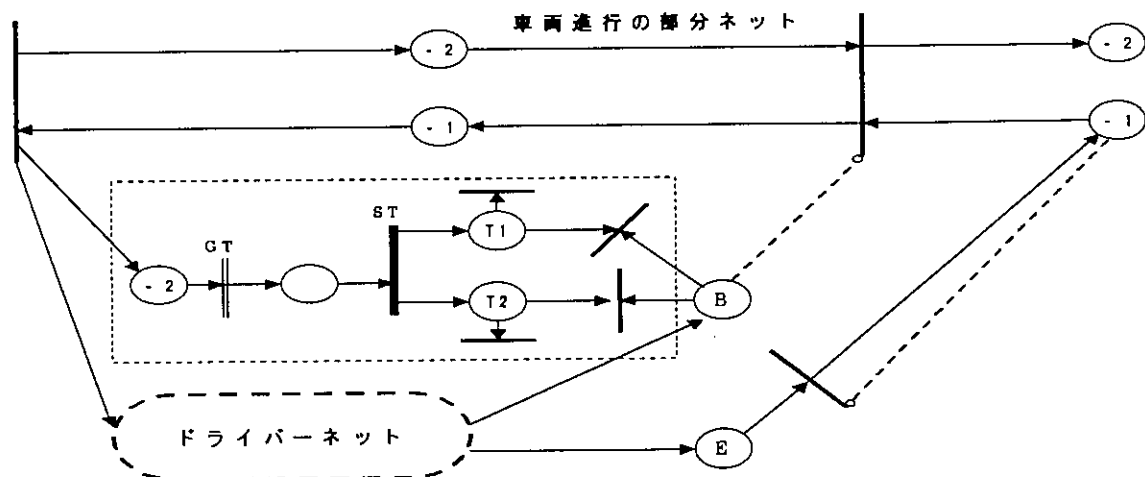


図 3-2 車両進行ネットへの結合化ネット

たときに追突事故リスクが発生する<sup>4),5)</sup>。

自律型と呼ぶように、通常の交通流のシミュレーションネットを使用する限り、このようなマーキング状態は発生しない。事故リスクの内在化とは、2-4と同様に、図3-1のドライバー系ネットを、図3-2のように車両進行ネットに結合化させることで、このような状態も発生しうるようにすることを意味している。

上述したように、図3-1のネットではp17（図3-2ではB）へのトークンのマーキングはブレーキングを意味し、p20（同E）へのトークンのマーキングは前方認知ミスを意味する。自律型安全確保機構の破綻は、ミスが発生し、Eにトークンのマーキングされたときに起きる。まずこのことを、図3-2では、プレースEからトランジションを介して、前方閉塞区間の”空間の空き”のプレース（-1）にトークンをマーキングする形のネットで実体化している。

Bのブレーキングによる減速は、当然、走行速度と道路条件によって異なるだろう。そこで、図3-2では、車速を可変タイマとして持つ”車両の存在”を示すプレースと同種の-2のプレースがあり、生成トランジションGTと選択トランジションSTによって2つのプレース（T1, T2）に分岐する点線部のネットを使用することで、この条件を考慮する。

例えば、いま当該車両が40km/hで走行中にブレーキングするとき、その車速タイマは車両進行ネットとともに点線部ネットの-2のプレースにも設定され、そのタイマ分の時間経過後にGTに設定した比率でT1あるいはT2にトークンが移動し、それらに設定したタイマ分が加算された後に、Bのトークンを消滅させる。その結果、車両進行の抑止が外れて、当該車両はこの閉塞区間を加算タイマ分多くの時間を費やし、つまり減速して通過する。

ちなみに、閉塞区間長を6.7mとし、T1とT2のタイマを、0.4秒と1.0秒に設定すれば、T1の場合には24km/hに、T2の場合には15km/hに減速させることになる。本シミュレータでの事故リスク形態を、図3-2のトークンのマーキング状態との関連で整理すれば、表3-3のようになる。まず、プレースBとEに共にマーキングがあるときは、前方認知ミスの下で、急ブレーキを掛けたケースとなり、制動が不十分（T1にマーキング）ならば追突リスクが、十分（T2にマーキング）ならば追突回避の可能性と被追突リスクとが発生する。次に、Bのみのときは、危険を認知し、ブレーキングしたケースで、T2にマーキングがあれば、このときも被追突リスクが発生する。一方、Eのみのときは、全くの前方認知ミスが発生したケースで、追突リスクは高くなるといえる。もちろん追突事故として顕在化するかどうかは、本シミュレータで生成される他

表 3-3 ネットのマーキング状態と事故リスク形態

| <div> <div>ブレース E</div> <div>ブレース B</div> </div> | ◎        |             | ○        |             |
|--------------------------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                                                  | 前方認知ミス   | T1 の時追突リスク  | 前方認知     | T2 の時被追突リスク |
| ◎                                                | 急ブレーキ    | T2 の時被追突リスク | ブレーキング   |             |
| ○                                                | 前方認知ミス   | 追突のリスク大     | 前方認知     | 通常走行        |
|                                                  | ブレーキング無し |             | ブレーキング無し |             |

の車両の走行状態による

## (2) シミュレーションネットの構成と実行性

シミュレーションネットは、対象道路の車両進行ネットの各閉塞区間に、その特性に応じて、図 3-2 の形式で図 3-1 のドライバー系のネットを結合させることによって構成できる。本研究では、事故内在型シミュレータの基本特性の把握のための事故リスクの相対的評価を目的としている。そこで、図 3-3 に示すように、19 個の閉塞区間から成る単路部 1 レーンの車両走行ネットに、2 個のドライバー系ネットを結合した比較的単純なネットを使用する。

具体的には 16, 17 番目の 2 つの閉塞区間にドライバー系のネットを結合しており、17, 18 番目の閉塞区間での追突事故リスクを計測することになる。距離的には、閉塞区間長を 6.7m あるいは 10m とすれば、130m から 200m 程度の単路部を想定することになる。

さらに、第 2 章で開発した事故計測ネットを結合する。こうして構成したシステムネットは、第 2 章で確認したように、通常の交通シミュレーションネットと全く同様に既開発のシミュレータでそのまま駆動可能となる。しかし、実用上はいくつかの注意が必要となる。

まず、事故シミュレーションでは”瞬時”の処理性が問題となる。ドライバーの探知時間は 0.5 秒、認識は 0.6 秒などとされるが<sup>7)</sup>、ペトリネットシミュレータはこのオーダの瞬時には十分に対応できる。具体的には、可変時間増分法を取るペトリネット・シミュレータでは、トランジションの発火そのものは”瞬時”であるが、その条件成立までの時間は、実現象に対応するブレースのタイマで決まる。問題は、図 3-1 のドライバー系のネットは、その性質上、少なくとも当該車両が閉塞区間を通過するに要する

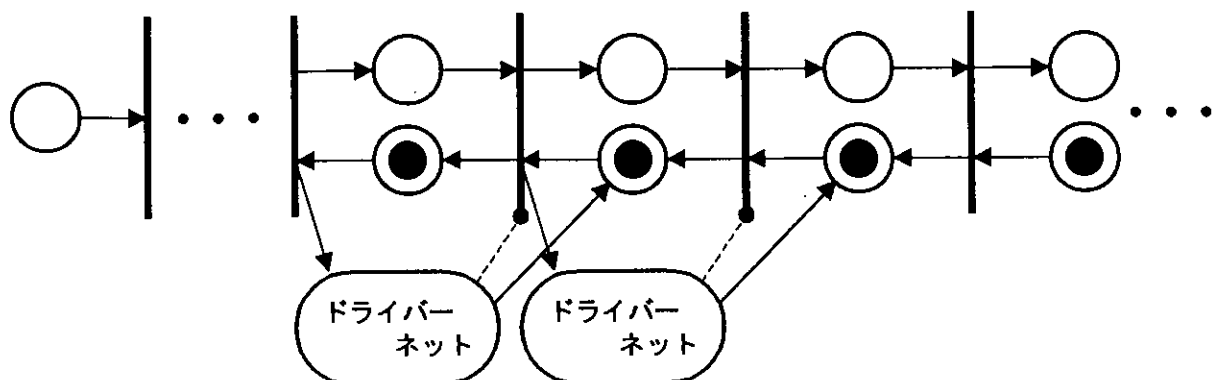


図 3-3 追突事故内在型の単路部ネット

時間内に処理される必要がある点にある。

ちなみに、閉塞区間長を 6.7 m とすれば、時速 30km のときには 0.8 秒以内の処理が必要となり、ドライバー系ネットのプレースタイマの設定は、この制約のために実態より瞬時的な設定となる恐れがある。

### 3-4 事故リスクシミュレーション結果と考察

#### (1) シミュレーション条件の設定

追突事故内在型シミュレータのパラメーター一覧は、表 3-2 に示してある。この先頭

表 3-4(1) プレースタイマの更新表

| 車両速度(km/h) |      | プレースタイマー(秒) |     | 加速率 |     |
|------------|------|-------------|-----|-----|-----|
| 走行速度       | 希望速度 | 現在の値        | 値   |     |     |
| 30         | 40   | 0.8         | 0.6 | 100 | 30  |
| 20         | 30   | 0.6         | 0.8 | 100 | 60  |
| 10         | 20   | 2.4         | 1.2 | 100 | 100 |
| 5          | 10   | 4.8         | 2.4 | 100 | 100 |
| タイプ        |      |             |     | I   | II  |

部分が、ペトリネットシミュレータで生成される交通流の特性を決めるもので、後半の 2 つの部分が、事故リスク度を規定するためにドライバー系ネットに設定可能なパラメータである。

まず、表 3-2 に示すように、生成交通流の特性は、閉塞区間長、タイマ更新表、および発生交通という 3 種類のパラメータによって規定される。閉塞区間長は最小車間間隔を決め、タイマ更新表はシミュレーション時の可変タイマの更新ルールで、車両の走

行速度や車間間隔を定めるものであり、ともに内包事故リスク率に直結するパラメータである。そこで、発生交通については15台/分のポアソン到着に固定し、閉塞区間長とタイマ更新表に着目したシミュレーションを行う。

改良 Windows 版では、表 3-4 に示すように、加速希望の確率化も可能となっている。具体的には、両者は関連しており、表 3-4(1)(2)に示す 4 タイプを想定する。更新表には、表 3-2 に示すように、最高速度と発進遅れ時間の指定が必要となるが、それらもここでは 40km/h と 1.2 秒として固定する。

各タイプを概説すれば、タイプⅠは、著者らの開発当初のもので、渋滞状況を想定した 6.7m という閉塞区間長となっている。また、車両は常に加速希望(加速率 =100)を持っている。タイプⅡは、必ずしも全ての車両の加速希望率は 100 とはいえず、速度に応じた確率化を導入するとした場合である。表 3-4(1)では、20km/h での走行車両で 30km/h 走行に加速希望するのは 60% であるが、30km/h 走行車両で 40km/h 希望はそれより低く 30%と仮定した場合のものである。表 3-4(2)のタイプⅢとⅣは、閉塞区間長は最小車間間隔を意味し、交通密度を規定し、追突事故リスクにも直結するとして、その設定の見直しを兼ねて、6.7m の約 1.5 倍の 10m として更新表を作成したケースである。

次に、ドライバー系ネット関連は、基本的には生成交通流の事故リスクの相対評価という目的から、固定値を使用する。表 3-5 に、図 3-1 のドライバー系ネットのプレースとトランジション(PL/TR)番号と対応させた形で、設定パラメータ値を示す。シミュレーションケース①～④が固定値の場合で、いずれも高リスクポテンシャル側に設定してある。

表 3-4(2) プレースタイマの更新表

| 車両速度(km/h) |      | プレースタイマー(秒) |     | 加速率 |     |
|------------|------|-------------|-----|-----|-----|
| 走行速度       | 希望速度 | 現在の値        | 値   |     |     |
| 30         | 40   | 1.2         | 0.9 | 100 | 30  |
| 20         | 30   | 1.8         | 1.2 | 100 | 60  |
| 10         | 20   | 3.6         | 1.8 | 100 | 100 |
| 5          | 10   | 7.2         | 3.6 | 100 | 100 |
| タイプ        |      |             |     | Ⅲ   | Ⅳ   |

最後に、ケース⑤は、本研究で開発した事故内在型シミュレータの特性把握のためのものである。すなわち、本研究ではドライバー系に着目し、そのプロセスの記述化をペトリネットによって試みたものであるが、図 3-1 に示したように、ツリー構造をしてい

る。従って一般には根元側の要因の方が寄与率が大きくなる。

表 3-5 シミュレーションパラメーター

| パラメータ   | (単位) | ①   | ②   | ③   | ④   | ⑤   |
|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 地点危険度   | 個/分  | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 危険度ランク  | %    | 95  | 95  | 95  | 95  | 95  |
| ミス直結性   | %    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  |
| 危険性判断ミス | %    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  |
| 指示ミス    | %    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  |
| 警戒心     | %    | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  |
| 警戒心持続   | 秒    | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |
| 交通量     | 個/分  | 15  | 15  | 15  | 15  | 15  |
| 更新表     | タイプ  | I   | II  | III | IV  | I   |

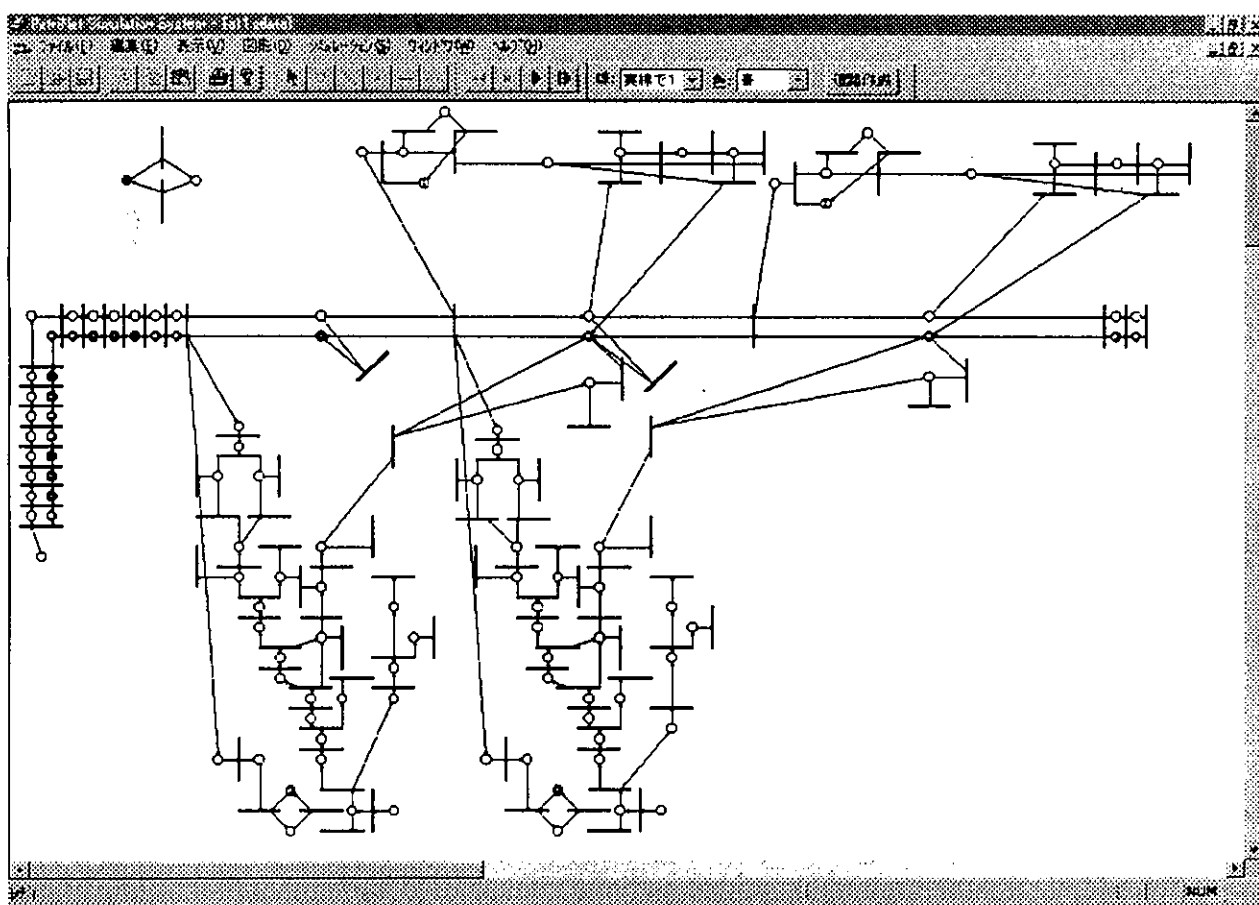


図 3-4 Windows 版 シミュレータの実行画面

ペトリネットの場合には、動的な抑止関係の記述が可能であり、その作用タイミングによっては枝側の要因も決定的な働きをすることもありうるという特長を持っている。図 3-1 のネットモデルでいえば、プレース 24 の“警戒心の持続”がそのような特性のもので、ケース⑤では、このパラメータ値のみを変更し、この特性を検討する。

最後に、Windows 版シミュレータでの実行画面を図 3-4 に示す。

## (2) シミュレーション結果と考察

表 3-5 に示す 5 ケースの事故リスクシミュレーションを実施した。シミュレーションは、発生交通用の乱数初期値を 3 種類、加速希望率用のものを 4 種類用意し、2000 秒間での通過交通量と事故発生回数を計測した。ケース別に述べれば、①と③と⑤については、加速希望の確率化を想定していないために、発生交通用の乱数初期値のみを変えて、2000 秒間のシミュレーションを各々 3 回、②と④については、確率化分との組み合わせで各々 12 回のシミュレーションを実施している。

まず、シミュレーション結果を表 3-6 に示す。事故発生率はいずれも高い値を示している。ここでは相対評価のみを問題にしており、ドライバー系ネットのパラメータ値を高リスク側に設定した結果が現れているといえよう。図 3-5 は、事故率を縦横の座標に取り、①～⑤のシミュレーション結果を表示し、相対評価を試みたものである。この図で、①と③、②と④との差は、表 3-5 および表 3-4 の設定条件から推測されるように、最小車間間隔の拡大効果を示しているといえよう。同様に、①と②、③と④の差は加速希望の抑制効果であり、①と④の差はそれらの総合効果を示している。いずれにおいても後者側は事故リスクポテンシャルは低下させるものであり、図 3-5 の結果は相対的には常識とも一致する結果となっていることが分かる。

次に、数値的に見ると、最小車間の拡大効果の方は、①-③=3%、②-④=8% 減であるのに対して、加速希望の抑制効果の方は、①-②=6%、③-④=10%減と大きくなっている。このことは、シミュレータで生成される各ケースの交通流で実現されている車間間隔が作用していることを示唆している。この点については後ほど議論する。

一方、①と⑤との差は、ドライバー系ネットにおける警戒心の持続要因が果たす安全性効果を示すもので、これも定性的には常識と一致する結果がえられている。数値的には、持続が 2 倍になると事故リスクは 29%減となり、事故対策として注目される結果となっている。この数値は、ペトリネットによるプロセス記述の特長を明確に示す一方で、このネットでは感度の高い重要な要因であり、パラメータ値を含めて、その記述部のさらなる吟味が必要であることも示しているといえよう。

後に論じるとした生成交通流で実現されている車間間隔との関連については、ケース

表 3-6 シミュレーション結果

| ケース         | ①       | ②       | ③       | ④       | ⑤       |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 平均通過台数 (台)  | 445.667 | 449.667 | 445.667 | 427.333 | 453     |
| 平均事故率(回数/台) | 0.16095 | 0.15173 | 0.15609 | 0.13951 | 0.11492 |

①と②に限定して考察する。表 3-4(1)に示すように、いずれのケースも閉塞区間長はともに 6.7 m である。まず、この値が、著者らのペトリネットシミュレータではアルゴリズムから定まる最小車間間隔となる。本シミュレーションでは、交通量は 15 台/分、即ち時間交通量では 900 台と多くはない想定となっている。そのために、ケース①と②の差の議論には、加速希望の抑制に加えて、シミュレーションで実現されている車間間隔との関連という視点が求められる。

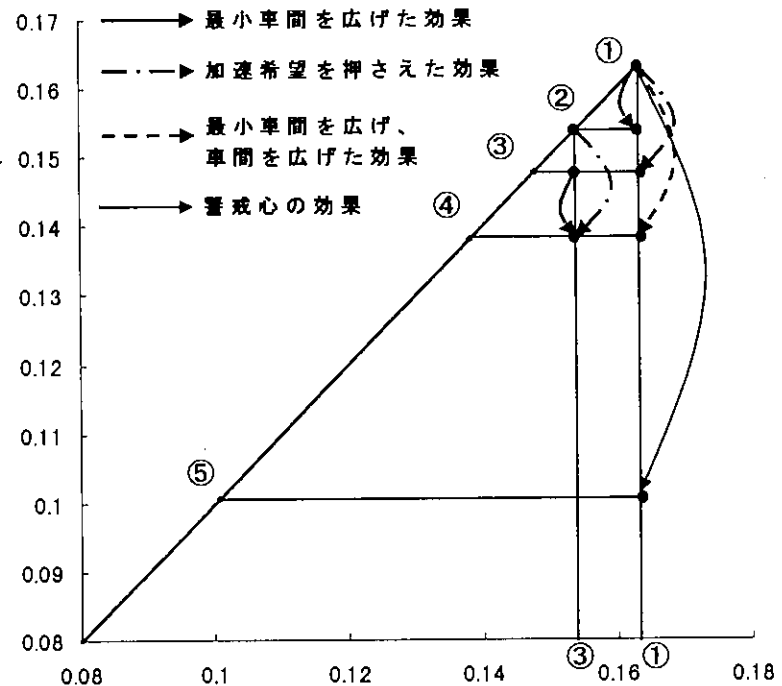


図 3-5 事故リスクの相対評価

表 3-7 は、ドライバー系ネット等を結合しない通常の単路部のネットを用い、表 3-5 の①と②のケースと同様の設定でシミュレーションを実施し、40km/h 走行に達した地点での 50 台分の車間間隔(車頭時間間隔)を計測した結果である。具体的には、該当地点に対応するトランジシ

表 3-7 実現車間間隔

| ケース         |    | ①     | ②     |
|-------------|----|-------|-------|
| 時間間隔<br>(秒) | 最小 | 1.6   | 0.6   |
|             | 平均 | 3.099 | 3.124 |
|             | 最大 | 15.1  | 16.41 |
| 距離間隔<br>(m) | 最小 | 17.8  | 6.7   |
|             | 平均 | 34.4  | 34.67 |
|             | 最大 | 171.1 | 182.2 |

ョンを指定して、その発火時間を計測し、その差を集計している。また、この表の距離の欄は、走行車速 40km/h を掛けて求めたものを集計している。

まず、表 3-5①と②の設定、より具体的には表 3-4(1)の設定では、上述したように最小車間間隔は、設定閉塞区間長の 6.7m となっている。そして、実現最小車間は①の方が大きく、平均車間間隔と最大車間間隔は若干ではあるが②の方が大きくなった。ケース②の方が①より平均事故率が小さいという上述の結果は、車速抑止効果に加えて、こ

の平均車間間隔のわずかな差が作用しているともいえよう。

しかし、繰り返し回数も少ないし、見方によっては、実現最小車間間隔が小さなケース②の方が危険ともいえ、さらなる検討が課題である。

ちなみに、ケース①での実現最小車間間隔である 1.6 秒で 3600 秒を割れば 2250 台/時間となる。この値が、閉塞区間長を 6.7m、最高速度を 40km/h とし、一律加速希望の更新表使用という設定での著者らのペトリネットシミュレータで生成される最大時間交通量となる。現在シミュレーションの検証マニュアル<sup>15)</sup>が提案されているが、そこでのレーン容量値は 2200 台/時間となっている。ここで使用している交通流のペトリネットシミュレータはこれに近い値を出力するものである。

### 3-5. あとがき

本研究では、交通流のペトリネットシミュレータ上で、追突事故リスク内在型のシミュレーションシステムを構築し、シミュレーション結果の相対評価による検討を試みた。まず、地点の危険度に応じて事故誘因が発生し、その処理結果としてブレーキングや認知ミスが生起するドライバー系のプロセス・ネットを開発した。そして、このネットと、第2章で開発した事故検知と事後処理ネットを、車両進行のネットに結合させる新たな方式を提示した。この結合方式によって、ミスによる追突要因として、ブレーキングによる追突事故回避要因として、さらには、ブレーキングによる被追突要因としてのドライバー系の組み入れを提案した。

このことは、このシミュレーションでは、他車両との関連が重要となることを意味し、そのために、交通流シミュレータの本体も改良版を使用することとし、最小車間間隔を規定する閉塞区間長のタイマ更新表での設定化と、一律加速希望の確率化を可能とした Windows 版を使用した。

次に、130m～200m 程度の単路部を対象にして、時間交通量を 900 台、最高速度を 40km/h とし、閉塞区間長の拡大化と、加速希望の確率化の有無に着目し、追突事故リスクの相対評価シミュレーションを実施した。閉塞区間の拡大化は最小車間間隔を拡大化し、加速希望の確率化は車速を抑制化し、いずれも追突事故リスクの軽減化に働くことを示した。また、ドライバー系ネットでは、動的な抑止関係として組込まれている“警戒心の持続”は、ツリー構造のネットモデルでの枝位置にあるが、大きな働きを示すことを示し、事故対策としての重要性を示唆するとともに、事故プロセスの記述モデルとしてのペトリネット法の特長を示すことができた。

生成交通流の特性との関連では、シミュレーション回数が不足で、十分な結論には至っていないが、アルゴリズムを加速希望の確率化対応に改良した意図は、算定交通量の面でも、内包リスクの面でも支持されるものであることを確認した。また、実現車間間隔の計測で、実現最小車間間隔と実現平均車間間隔の比較で大小関係が逆転するという結果となり、平均事故率でのリスク評価と、実現最小車間間隔による評価が対立する可能性も明らかになった。このリスクの定義問題を含め課題は多いが、事故リスク内在型交通流シミュレータの一つとして検討に値することは示せたのではと考えている。

課題は、何よりもまずシミュレーション回数の増大による分析の信頼性の向上である。乱数初期値の資格検査を含め検討したい。次に、相対評価とはいえドライバー系ネットのパラメータ値と記述法の見直しが必要であり、統計モデルとの整合性を検討したいと考えている。

もう一つは、交差点部での事故リスクシミュレータの開発である。2-3 で基本ネットを提示したが、これを3章で開発したドライバー系のプロセスネットと関連付ける必要がある。第4章では、この準備として、高齢者ドライバー問題を含めて検討する。

### 3-6. 参考文献

- 1) 木俣昇, 高木秀彰, 黒川浩嗣: ペトリネットによる交通流シミュレーションの開発, 土木計画学研究論文集, No. 12, pp. 691~699, 1995.
- 2) 木俣昇, 鷺坂崇: 横断歩行者を考慮した交差点流のペトリネットシミュレーションの開発, 土木計画学研究講演集, No. 19(2), pp. 225~228, 1996.
- 3) 木俣昇, 鷺坂崇, 千田諭: ペトリネットによる相互干渉する隣接2信号交差点での渋滞シミュレーション, 土木計画学研究講演集, No. 20(2), pp. 315~318, 1997.
- 4) 木俣昇, 鷺坂崇, 鷺見育男: ペトリネット型交通流シミュレーションシステムの安全確保機構の破綻化による事故モデルの基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, 20(1), 489~492, 1997.
- 5) 木俣昇, 鷺見育男: ペトリネットによる交通流の事故シミュレーションシステムの開発とその地震防災計画への応用, 第2回都市直下地震災害総合シンポジウム, 415~418, 1997.
- 6) M. G. Lay: Handbook of Road Technology, Vol-2, Gordo & Breach, 1998.
- 7) H. Lum, J. A. Reagan: Interactive Highway Safety Design Model, Public Roads (Winter), pp. 14~17, 1995.
- 8) E. M. Holroyd: The Variation of Drivers' Accident Rates between Drivers and Over Time, Accid. Anal. & Prev., Vol. 24, No. 3, pp. 275~305, 1992.
- 9) D. L. Massie, etc.: Crash Involvement Rates by Driver Gender and the Role of Average Annual Mileage, Accid. Anal. & Prev., Vol. 29, No. 5, pp. 675~685, 1997.
- 10) T. Assum: Attitudes and Road Accident Risk, Accid. Anal. & Prev., Vol. 29, No. 2, pp. 153~159, 1997.

- 11) F.H.Notal,A.A.W.Saeed : Seasonal Variation and Weather Effects on Road Traffic Accidents in Riyadh City, Public Health, Vol.111, No.1, pp. 51～55, 1997.
- 12) J.M.Violanti: Cellular Phones and Fatal Traffic Collisions, Accid. Anal. & Prev. Vol.30, No.4, pp. 519～524, 1998.
- 13) 木俣昇, 千田諭, 白水情郎, 他: ペトリネットを用いた交通流シミュレータの検証, 土木計画学研究講演集, Vol.22(2), pp. 865～868, 1999.
- 14) 土木計画学研究委員会: 交通事故分析と ITS による交通事故遁滅の可能情について, 土木計画学ワンディセミナー, 17, 1999.
- 15) 土木計画学研究委員会 交通シミュレーション実用化促進ワークショップ 道路利用の情報化・効率化小委員会 WG5: シミュレーションシステム クリアリングハウス, 1999

## 第4章 信号交差点における右折ドライバーの交通特性

### に関する調査分析

#### 4-1 本研究の背景と目的

我が国では、近年、世界でもまれにみる急速な高齢化が進んでおり、来世紀には世界有数の高齢化社会になると考えられている。それに伴い高齢者の交通事故が急増しており、今後も増える傾向がある。図4-1より特に石川県などの地方では高齢者の交通事故が多く、交通事故全体に占める高齢者の割合は全国平均と比べ大きくなっている事がわかる。そのため、高齢者の交通安全対策が緊急を要する重要な課題となっている。高齢者の事故としては、歩行中の事故が多く被害者の存在であるのに対し、今後は高齢者の運転免許保有者の増加が進み、加害者になる場合がますます増えると考えられている。また、交通事故に対する環境面の問題として、道路状況の複雑化、交通量の増加などの要因が挙げられる。交通事故の原因は全体として、不注意や安全意識の低さなどがあげられるが、高齢者を対象とする場合、心身能力の低下に目を向ける必要がある。本研究では、高齢者の交通事故に見られる交通事故要因と交通行動特性について研究を行う。

特に最近、信号交差点において右折自動車と直進自動車の出会い頭の衝突事故が急増しており、その特徴としては高齢者ドライバーの右折自動車が若者ドライバーの直進自動車に衝突する事故が多く、その原因を探るために信号交差点におけるビデオ調査データを分析し、交通事故防止の基礎資料とすることを目指す。

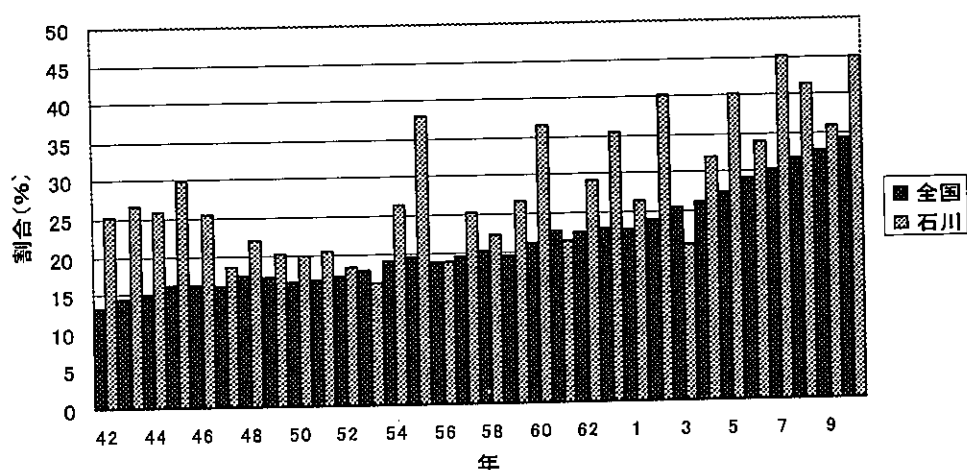


図4-1 全交通事故被害者における高齢者の割合

## 4-2 高齢者の交通行動特性に関する実態調査の目的

上述したように、高齢ドライバーの事故として、交差点での右折車（高齢ドライバー）と直進対向車（若者ドライバー）との交通事故が多いといわれており、その際の高齢ドライバーの心身能力が問われることとなる。したがって、交差点での交通事故防止対策を考える場合には、高齢ドライバーの右折行動特性を把握することが重要である。

以上のことより金沢市内の交差点内での右折行動実態を調査し分析する。昨年度は金沢市小坂町にある小坂町交差点でビデオ調査を行ったが、サンプル数が少なかったこと、他の交差点の調査も行う必要があることなどから、今回はさらにサンプル数に加えるという形で行うこと、反省点を踏まえて撮影し、より正確なデータを取ることを目的とする。

## 4-3 ビデオ調査の方法

高齢ドライバーの交差点での右折行動特性を把握するためには交差点内をビデオ撮影し、行動特性を分析する必要がある。交差点の選定としては、

- ①右折専用現示のない交差点を選ぶ
- ②できるだけ交通量の多い交差点を選ぶ

という事などから平和町交差点、泉野出町交差点を選定した。ビデオ調査の方法としては、右折車と対向車を撮影するために2台のカメラを用意し、目視によりそれぞれのドライバーの属性についてその場で用紙に記録する。ドライバーの属性の判断は観測者の判断に任せるものとする。

## 4-4 ビデオ調査の内容

ビデオ調査の項目は以下に示す。

- ①ドライバーの属性（年齢・性別）
- ②車種（普通車・軽自動車・大型車）
- ③車頭時間
- ④直進車接近速度（前・後）
- ⑤右折車停止位置（手前・標準・はみ出し・徐行・通り抜け・信号無視）
- ⑥歩行者の有無

右折車停止位置については小坂町では、①手前、②標準、③はみ出し、④通り抜け、の4種類であったが、反省点を踏まえ、より詳しいデータを得ることを目的に、平和町、泉野出町では小坂町での停止位置分類に加え⑤徐行、⑥信号無視を加えることにした。

(1) 調査日時

小坂町交差点

|       |        |             |
|-------|--------|-------------|
| 平成10年 | 9月28日  | 15:00~15:40 |
|       | 11月16日 | 12:30~14:00 |
|       | 12月17日 | 14:30~16:30 |
|       | 12月18日 | 13:00~14:30 |

平和町交差点

|       |        |             |
|-------|--------|-------------|
| 平成11年 | 10月 6日 | 11:15~12:15 |
|       |        | 12:30~13:30 |
|       | 10月 9日 | 9:00~10:00  |
|       |        | 10:10~11:10 |
|       | 10月18日 | 13:00~14:00 |
|       |        | 14:15~15:15 |

泉野出町交差点

|       |        |             |
|-------|--------|-------------|
| 平成11年 | 12月 1日 | 10:00~11:00 |
|       |        | 11:10~12:10 |
|       |        | 14:45~15:45 |
|       | 12月 3日 | 13:00~14:00 |
|       | 12月 4日 | 10:00~11:00 |
|       |        | 11:10~12:10 |

(2) 調査地点詳細図

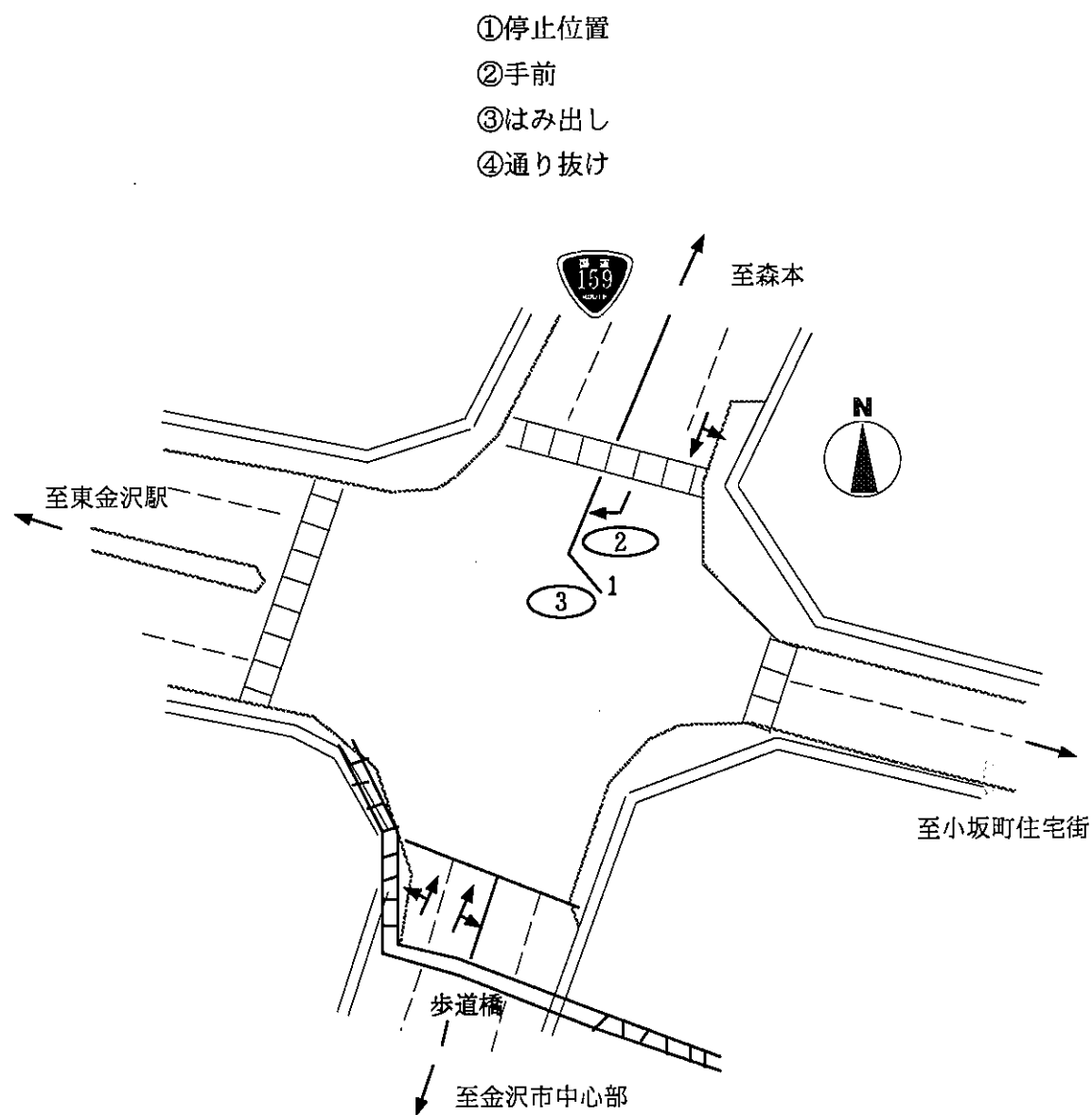


図 4-2 小坂町交差点

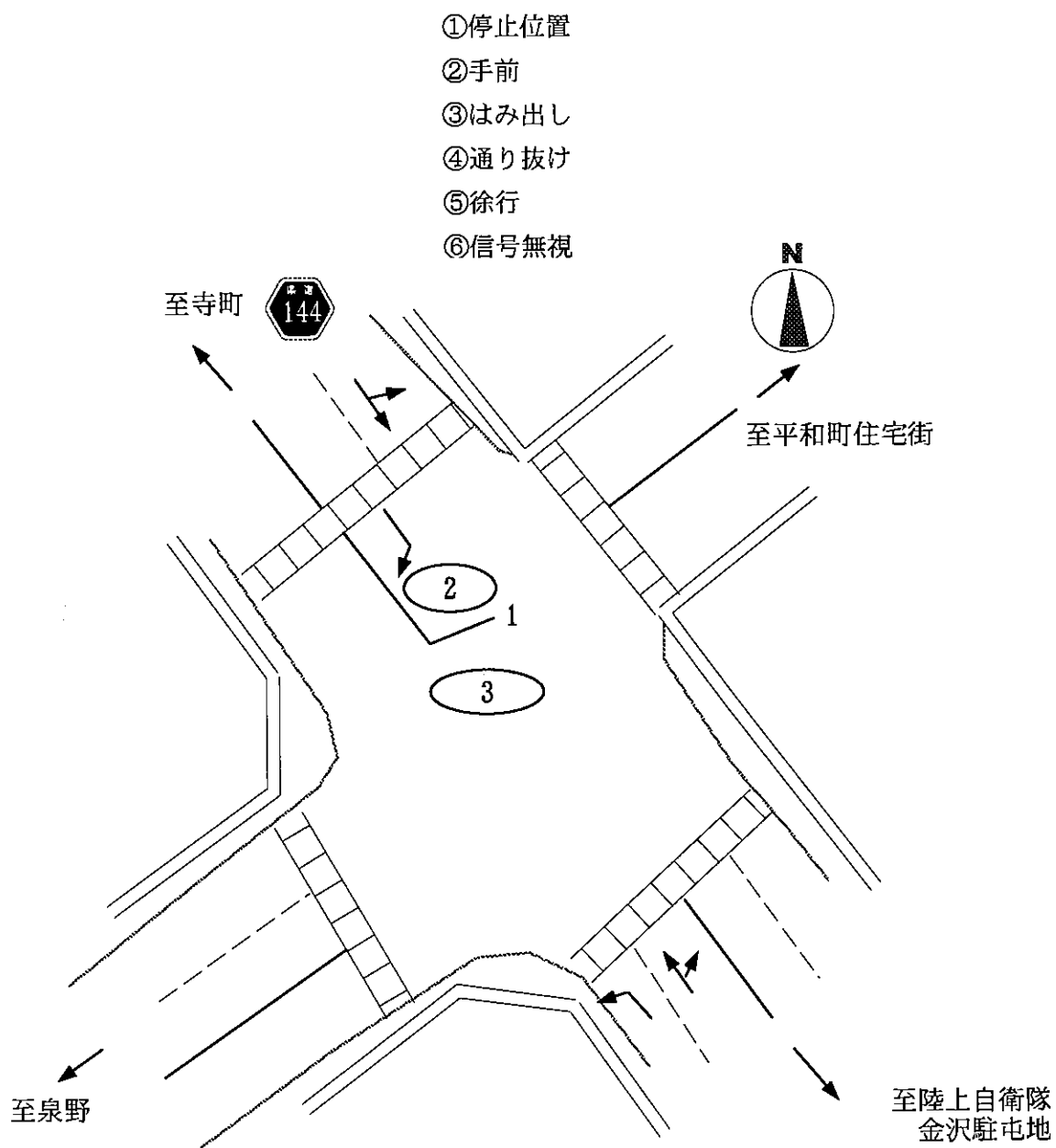
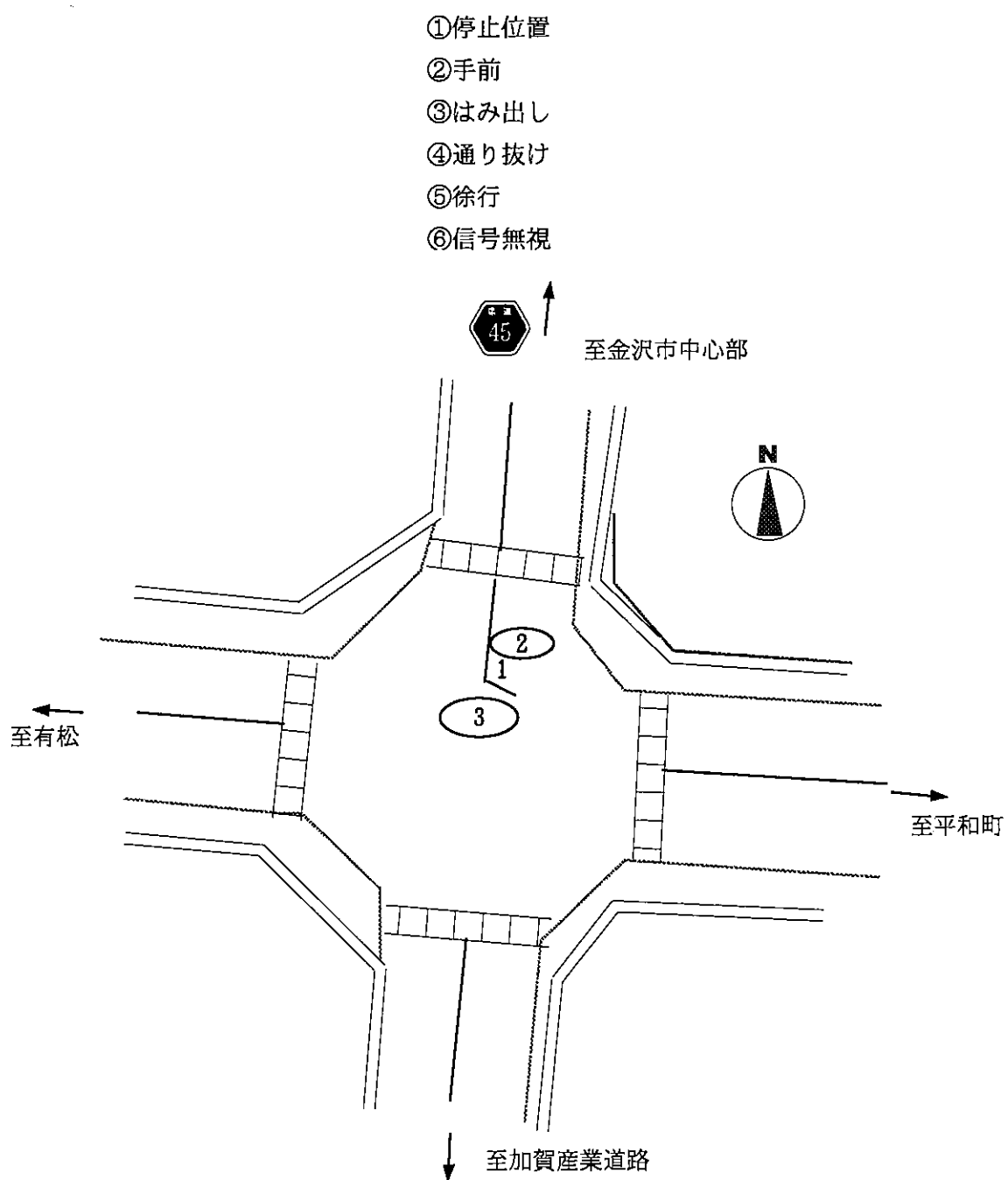


図 4-3 平和町交差点



#### 4-5 ビデオ撮影による交通行動特性の実態調査集計結果

本章では、交差点でのビデオ調査による実態調査の集計をまとめた。

(1) 右折時車頭時間に関する集計結果では、最も右折に影響する要因としての直進車の車頭時間に関して図にまとめた。車頭時間とは、ある1地点を通過する連続する2台の車両の時間的な相互関係を表す状態量のことであり、同一の地点に前車の前端部が通過してから後車の前端部が到着するまでの時間をしめす。

(2) 右折時直進対向車接近速度に関する集計結果では、右折時における直進対向車の接近速度をもとめ、図にまとめた。ここでは平和町交差点と泉野出町交差点での分析を行った。

(3) 停止位置に関する集計結果では、各交差点での属性別の停止位置を図にまとめた。ここでは昨年度に行われた小坂町交差点での分析と今回調査を行った平和町交差点、泉野出町交差点について交差点別に分析した。

(4) 横断歩行者の有無に関する集計結果では、右折時における平和町交差点、泉野出町交差点の横断歩行者が存在する場合の右折車全体における割合を図にまとめた。

(5) 危険右折行為に関する集計結果では、信号が赤から青に変わるとすぐに右折行為を行ったことについて分析した。これは、平和町交差点ではほとんどなかったが泉野出町交差点では40件と多かったため、その属性をまとめた。

(1) 右折時車頭時間に関する集計結果

表 4-1 属性別サンプル数 (割合)

| 性別 | 小坂町      | 平和町      | 泉野出町     |
|----|----------|----------|----------|
| 男性 | 334(73%) | 205(73%) | 160(59%) |
| 女性 | 120(26%) | 77(27%)  | 112(41%) |
| 計  | 454      | 282      | 272      |

性別割合

| 年齢  | 小坂町      | 平和町      | 泉野出町     |
|-----|----------|----------|----------|
| 若年  | 105(23%) | 51(18%)  | 43(16%)  |
| 中年  | 304(67%) | 182(65%) | 194(71%) |
| 高齢者 | 45(10%)  | 49(17%)  | 35(13%)  |
| 計   | 454      | 282      | 272      |

年齢別割合

| 車種      | 小坂町      | 平和町      | 泉野出町     |
|---------|----------|----------|----------|
| 軽自動車    | 133(29%) | 65(23%)  | 52(19%)  |
| 普通車     | 277(61%) | 186(66%) | 211(78%) |
| 貨物車 大型車 | 44(10%)  | 31(11%)  | 9(3%)    |
| 計       | 454      | 282      | 272      |

車種別割合

表 4-2 高齢ドライバーの内訳

|    |         | 小坂町     | 平和町     | 泉野出町    |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 性別 | 男性      | 33(73%) | 43(88%) | 33(94%) |
|    | 女性      | 12(27%) | 6(12%)  | 2(6%)   |
| 車種 | 軽自動車    | 24(53%) | 16(33%) | 10(29%) |
|    | 普通車     | 21(47%) | 29(59%) | 24(69%) |
|    | 貨物車 大型車 | 0       | 4(8%)   | 1(3%)   |

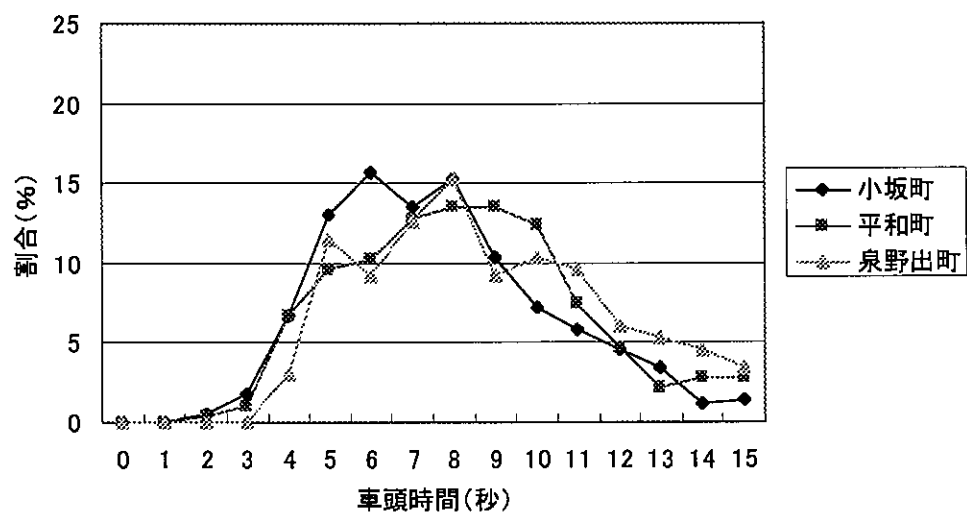


図 4 - 5 町別の車頭時間状況

小坂町・平和町・泉野出町交差点でのサンプル全体の車頭時間状況

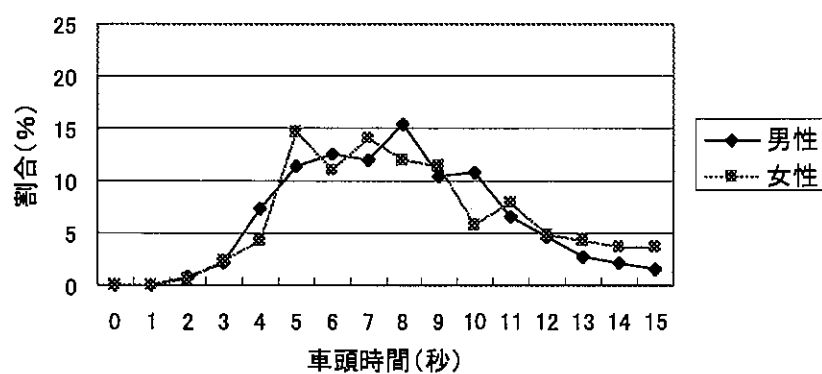


図 4-6 車頭時間－性別

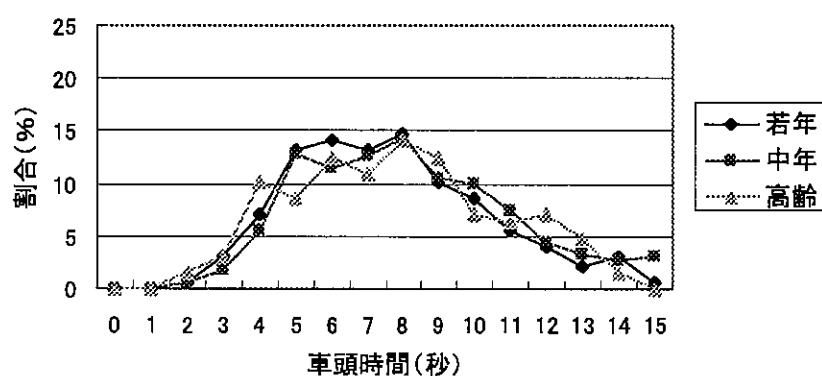


図 4-7 車頭時間－年齢

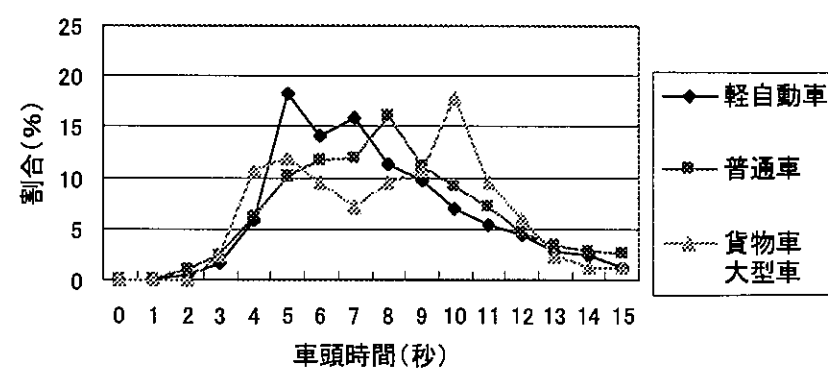
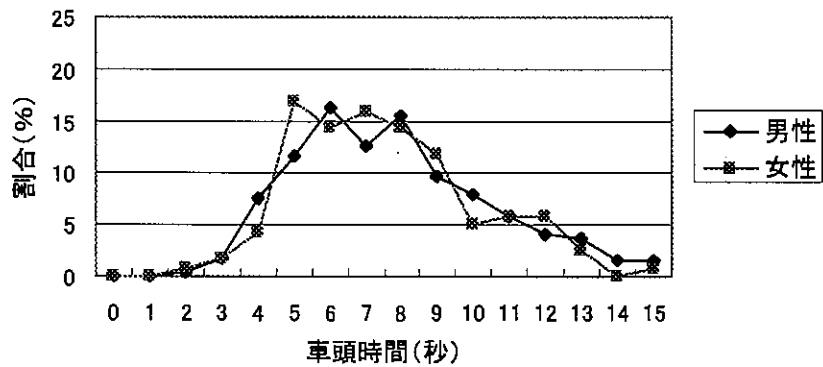


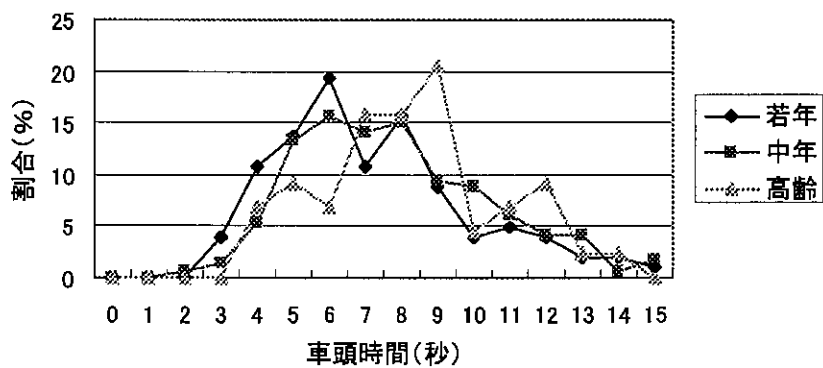
図 4-8 車頭時間－車種

小坂町での車頭時間分析結果



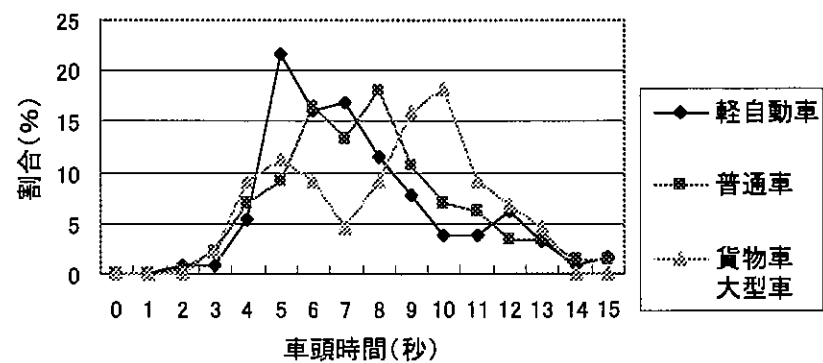
|         | 男性   | 女性   |
|---------|------|------|
| 平均：車頭時間 | 7.93 | 7.64 |

図 4 - 9 車頭時間－性別



|         | 若年   | 中年   | 高齢   |
|---------|------|------|------|
| 平均：車頭時間 | 7.39 | 7.93 | 8.41 |

図 4 - 10 車頭時間－年齢



|         | 軽自動車 | 普通車  | 大型車  |
|---------|------|------|------|
| 平均：車頭時間 | 7.59 | 7.91 | 8.26 |

図 4 - 11 車頭時間－車種

平和町での車頭時間分析結果

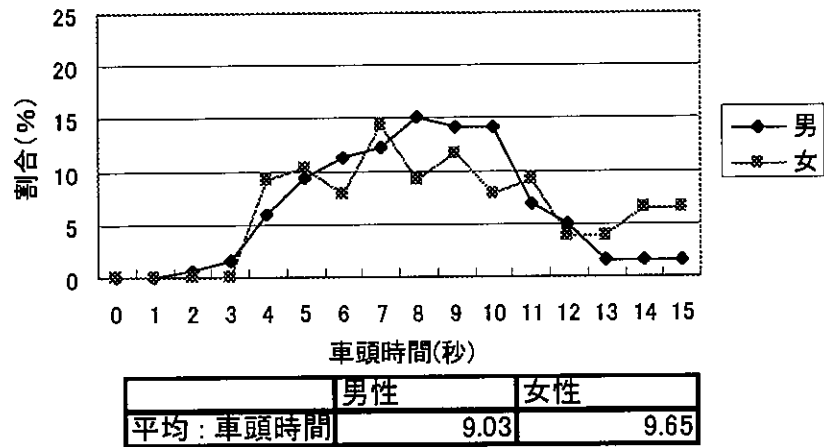


図 4 - 1 2 車頭時間－性別

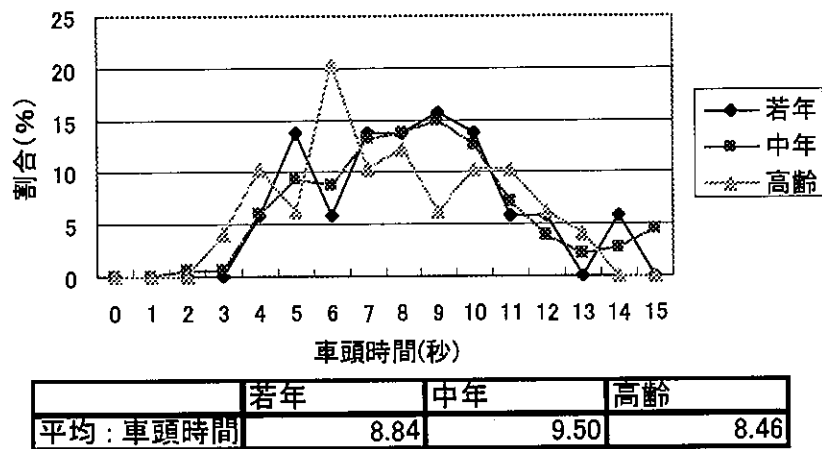


図 4 - 1 3 車頭時間－年齢別

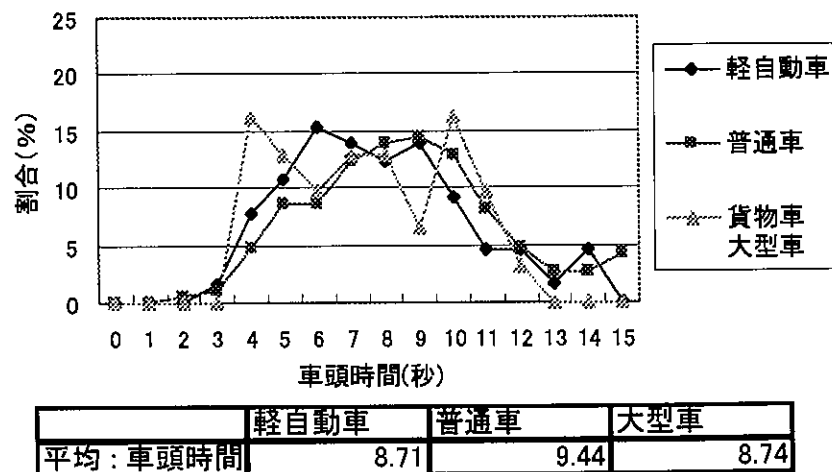


図 4 - 1 4 車頭時間－車種別

泉野出町での車頭時間分析結果

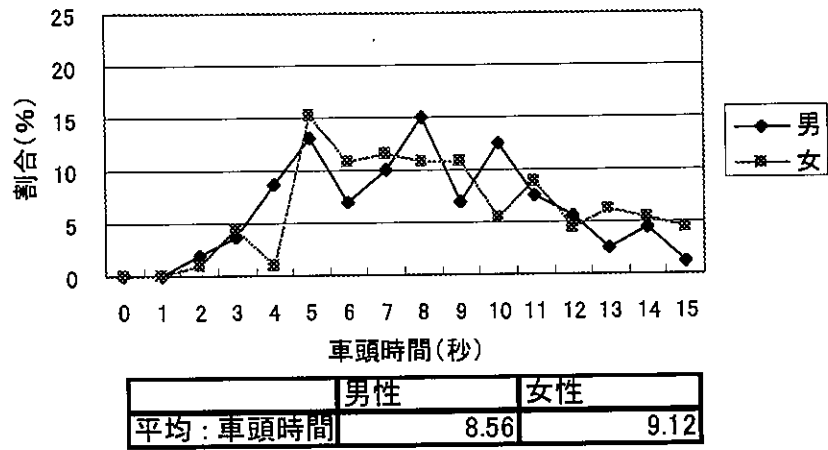


図 4 - 1 5 車頭時間一性別

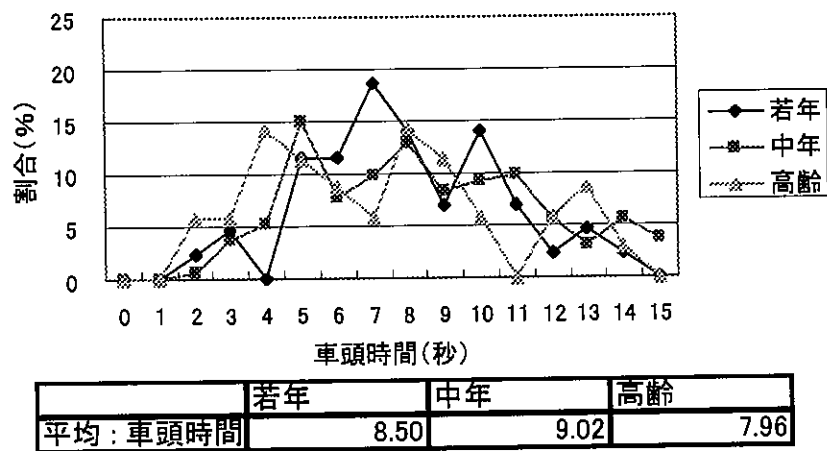


図 4 - 1 6 車頭時間一年齢別

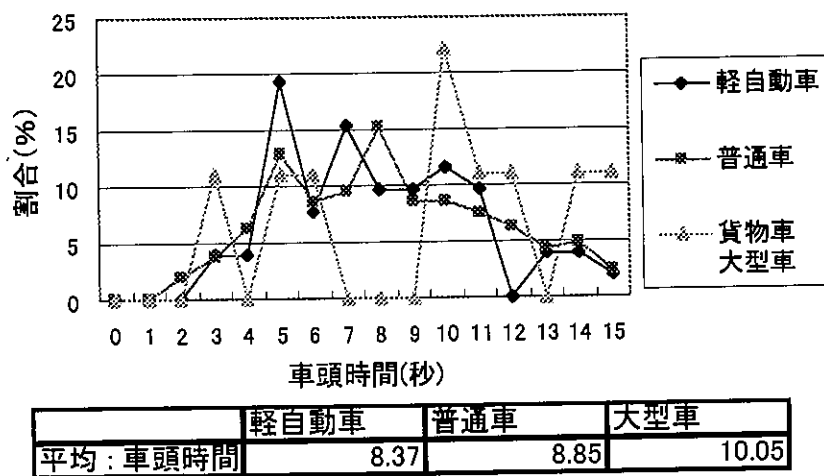


図 4 - 1 7 車頭時間一車種別

サンプル全体の車頭時間一年齢別グラフ

男性

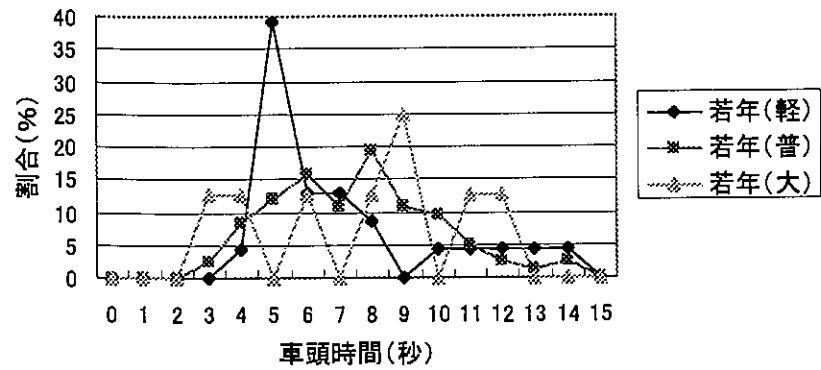


図 4 - 1 8 車頭時間－若年

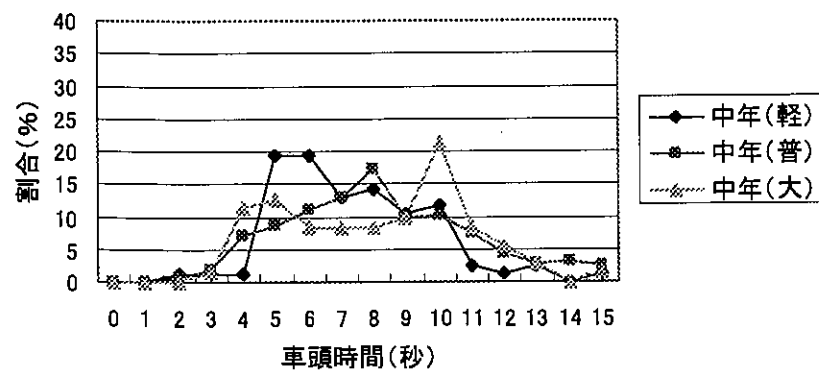


図 4 - 1 9 車頭時間－中年

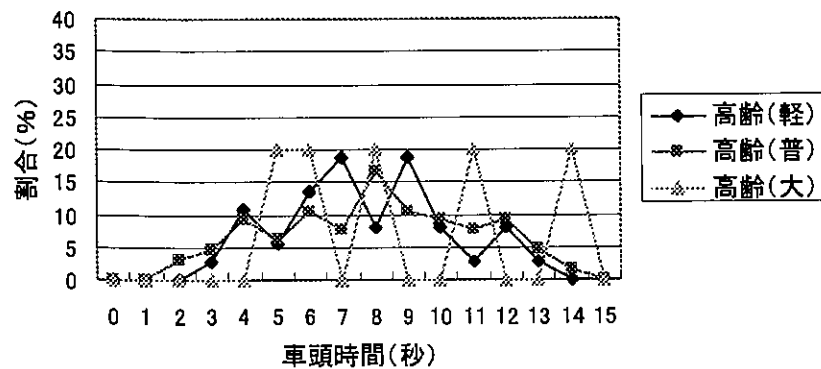


図 4 - 2 0 車頭時間－高齢

女性

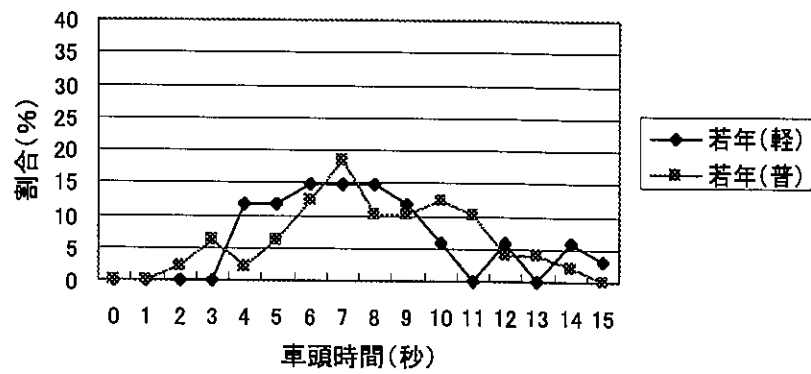


図 4 - 2 1 車頭時間－若年

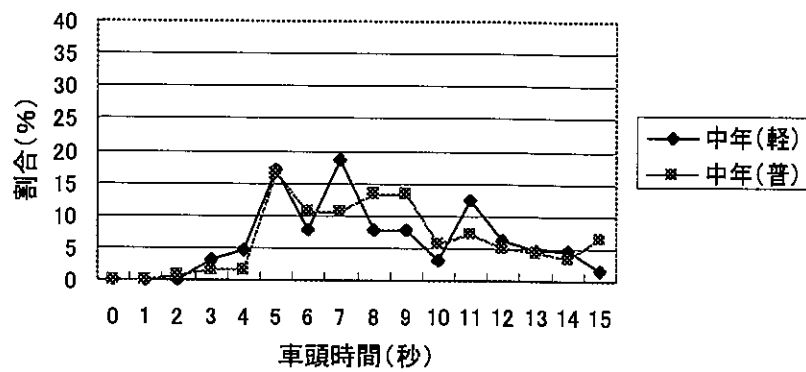


図 4 - 2 2 車頭時間－中年

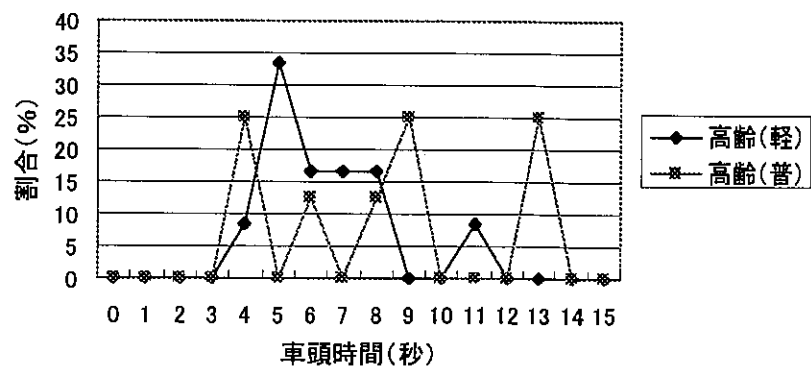


図 4 - 2 3 車頭時間－高齢

サンプル全体の車頭時間－車種別グラフ

男性

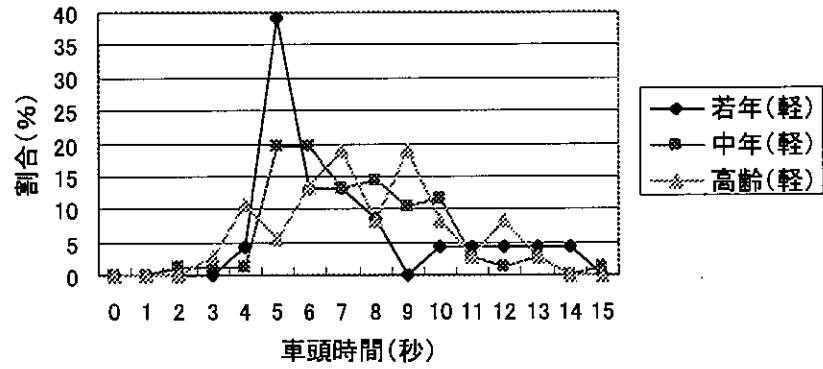


図 4-24 車頭時間－軽自動車

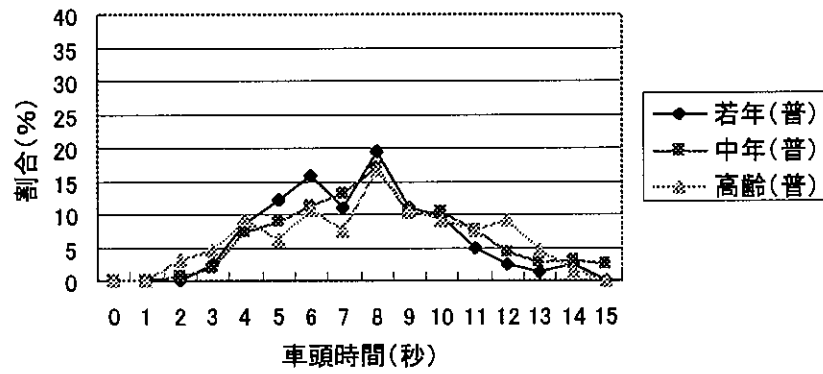


図 4-25 車頭時間－普通車

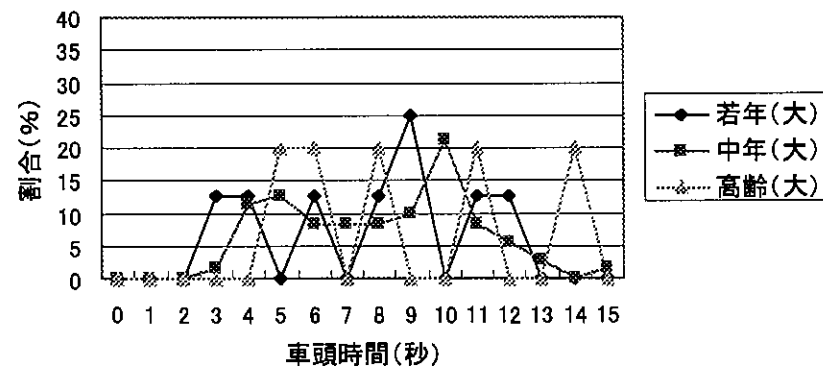


図 4-26 車頭時間－大型車・貨物車

# 女性

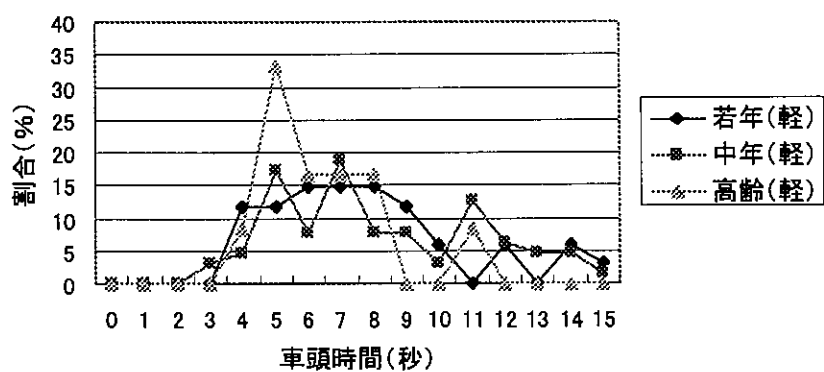


図 4 - 2 7 車頭時間－軽自動車

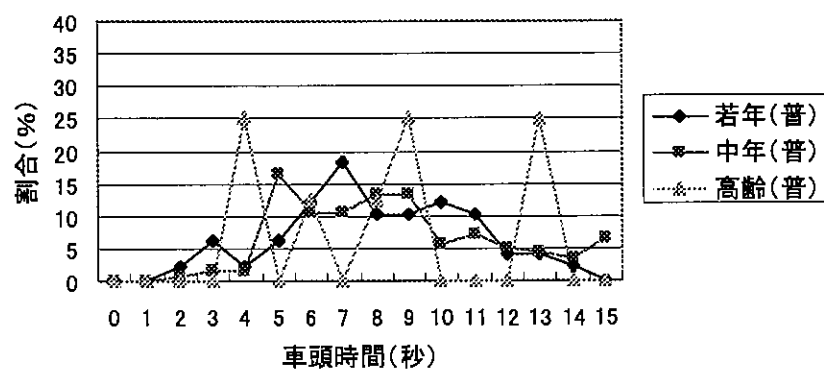


図 4 - 2 8 車頭時間－普通車

2-4-2 右折時直進対向車接近速度に関する集計結果

平和町サンプル数

|        | 若年 | 中年  | 高齢 | 計   |
|--------|----|-----|----|-----|
| 直進車(前) | 31 | 129 | 33 | 193 |
| 直進車(後) | 32 | 135 | 34 | 201 |
| 計      | 63 | 264 | 67 |     |

|        | 若年   |     |     | 中年   |     |     | 高齢   |     |     |
|--------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|
| 直進車(前) | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 |
| 男性     | 3    | 10  | 0   | 12   | 65  | 19  | 8    | 18  | 2   |
| 女性     | 9    | 9   | 0   | 9    | 24  | 0   | 2    | 3   | 0   |
| 直進車(後) | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 |
| 男性     | 4    | 9   | 0   | 15   | 67  | 19  | 8    | 18  | 3   |
| 女性     | 10   | 9   | 0   | 10   | 24  | 0   | 2    | 3   | 0   |

泉野出町サンプル数

|        | 若年 | 中年  | 高齢 | 計   |
|--------|----|-----|----|-----|
| 直進車(前) | 43 | 192 | 35 | 270 |
| 直進車(後) | 43 | 183 | 34 | 260 |
| 計      | 86 | 375 | 69 |     |

|        | 若年   |     |     | 中年   |     |     | 高齢   |     |     |
|--------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|
| 直進車(前) | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 |
| 男性     | 3    | 13  | 2   | 9    | 93  | 6   | 10   | 22  | 1   |
| 女性     | 4    | 21  | 0   | 24   | 60  | 0   | 0    | 2   | 0   |
| 直進車(後) | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 | 軽自動車 | 普通車 | 大型車 |
| 男性     | 3    | 13  | 2   | 8    | 87  | 5   | 9    | 22  | 1   |
| 女性     | 4    | 21  | 0   | 23   | 60  | 0   | 0    | 2   | 0   |

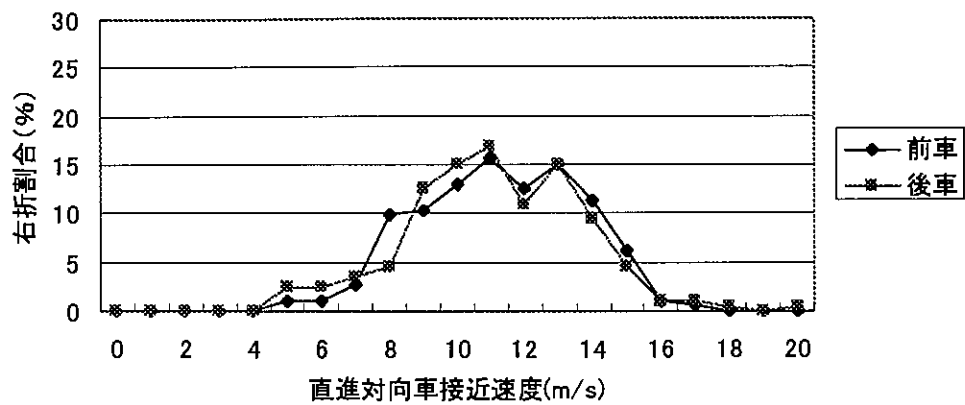


図 4 - 2 9 右折時の対向車接近速度－平和町

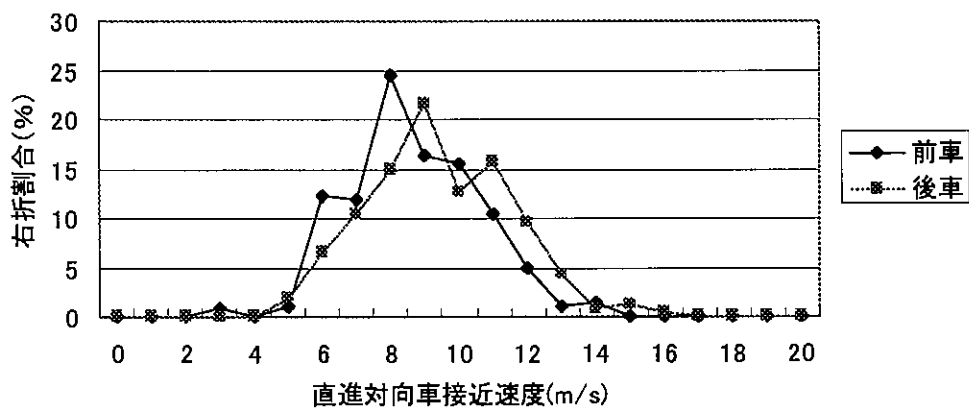


図 4 - 3 0 右折時の対向車接近速度－泉野出町

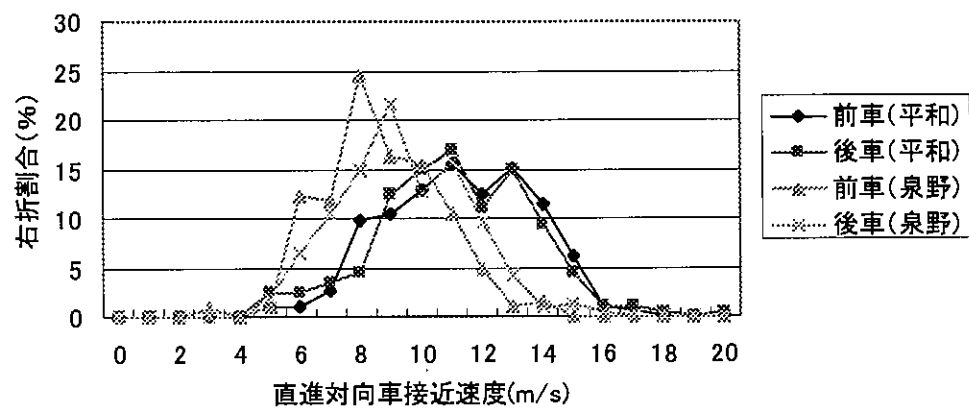


図 4 - 3 1 町別の右折時の対向車接近速度

平和町における右折時の対向車接近速度

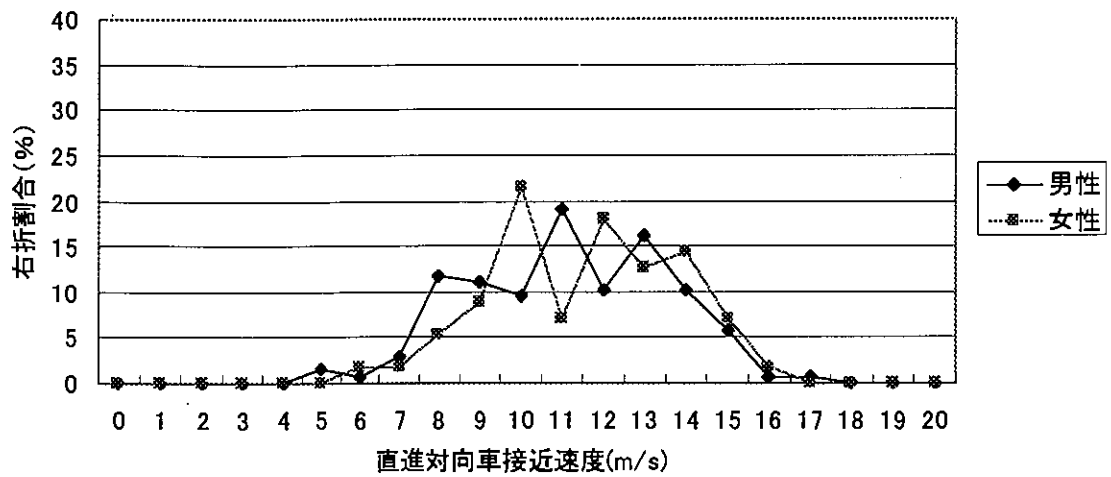


図 4 - 3 2 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度－性

|         | 男性    | 女性    |
|---------|-------|-------|
| 平均：速度・前 | 11.14 | 11.52 |

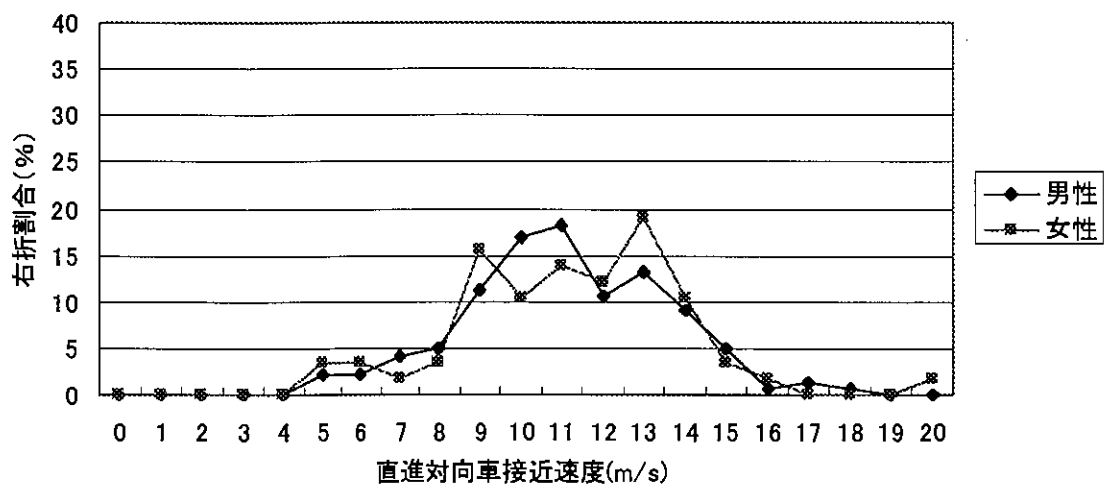


図 4 - 3 3 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－性別

|         | 男性    | 女性    |
|---------|-------|-------|
| 平均：速度・後 | 11.07 | 11.22 |

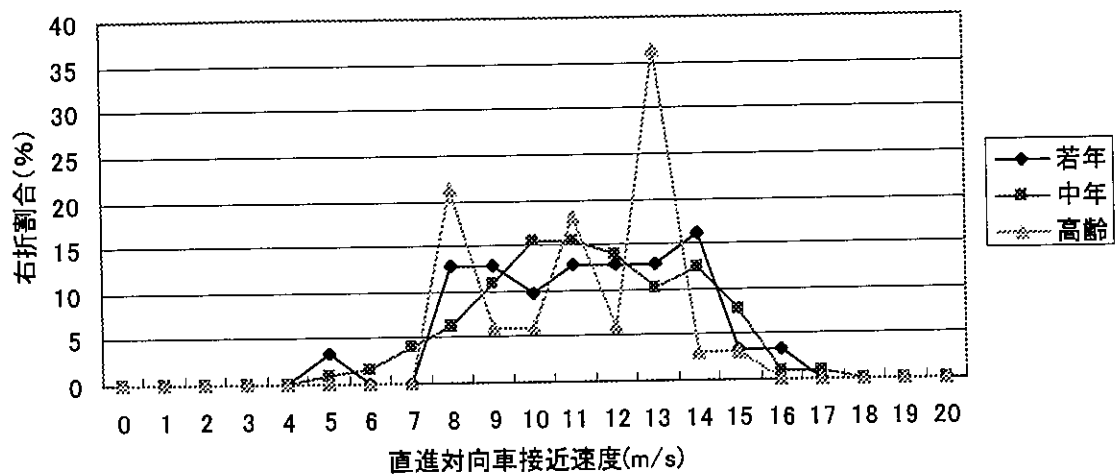


図 4-34 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度一年齢

|         | 若年    | 中年    | 高齢    |
|---------|-------|-------|-------|
| 平均：速度・前 | 11.23 | 11.27 | 11.18 |

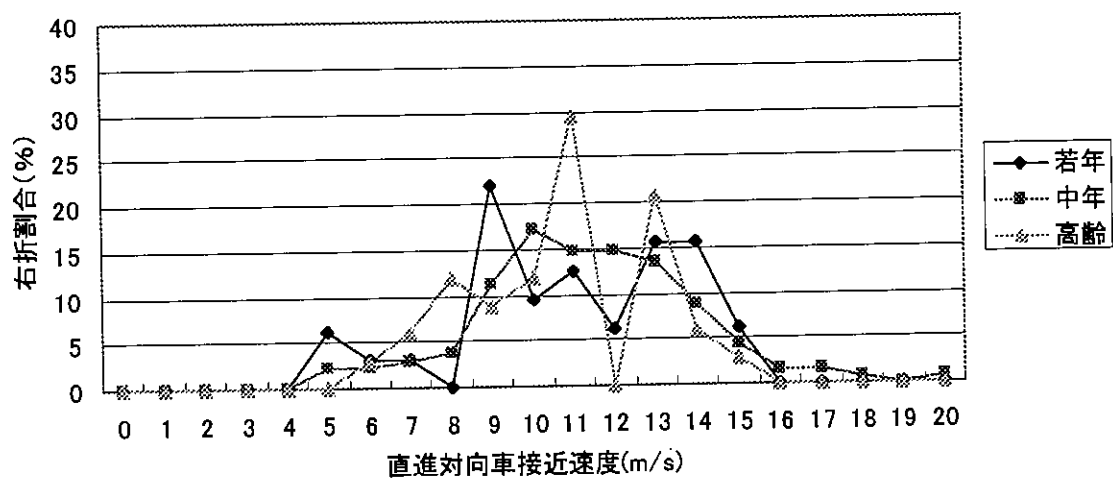


図 4-35 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度一年齢

|         | 若年    | 中年  | 高齢    |
|---------|-------|-----|-------|
| 平均：速度・後 | 10.91 | 11. | 10.68 |

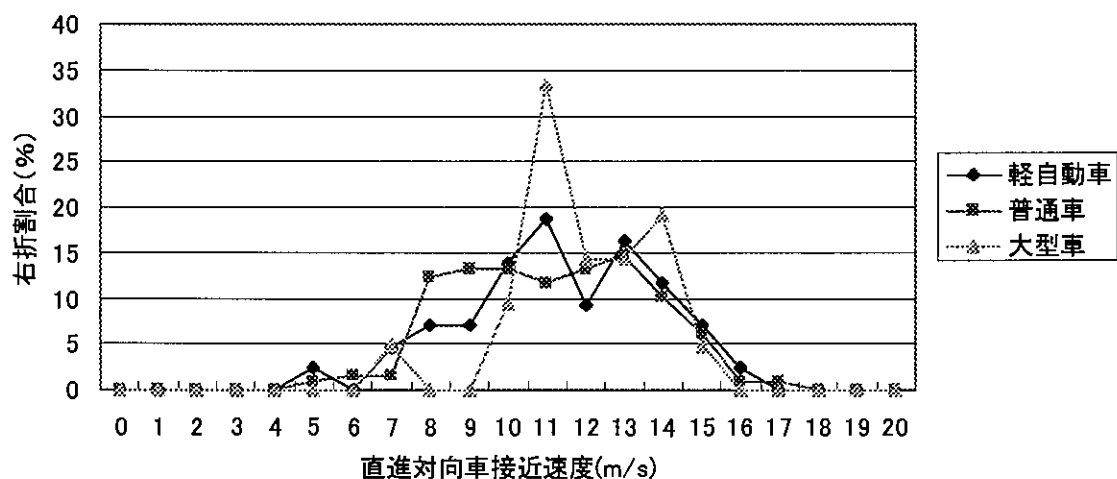


図 4－3 6 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度－車種

|         | 軽自動車  | 普通車   | 大型車   |
|---------|-------|-------|-------|
| 平均：速度・前 | 11.35 | 11.11 | 11.90 |

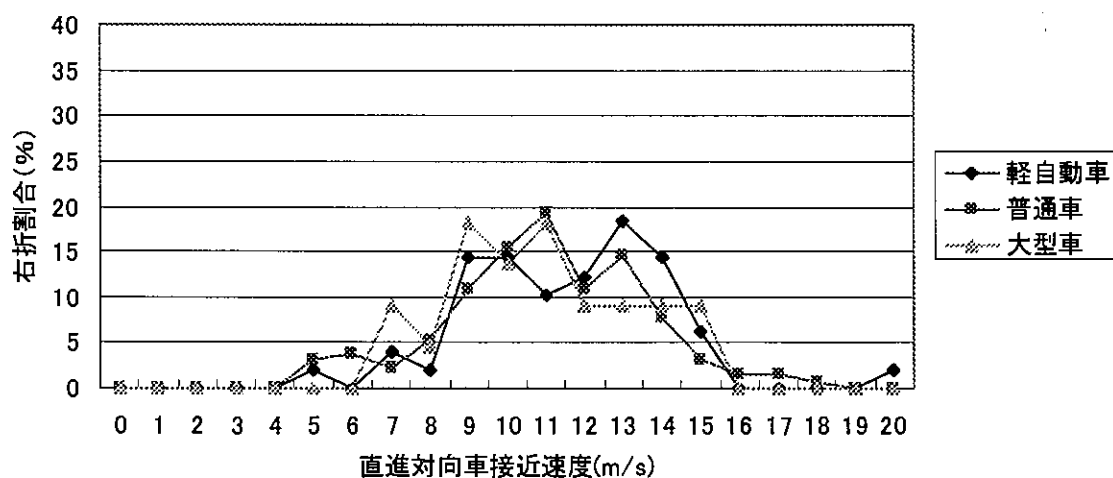


図 4－3 7 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－車種

|         | 軽自動車  | 普通車   | 大型車   |
|---------|-------|-------|-------|
| 平均：速度・後 | 11.57 | 10.98 | 10.91 |

男性

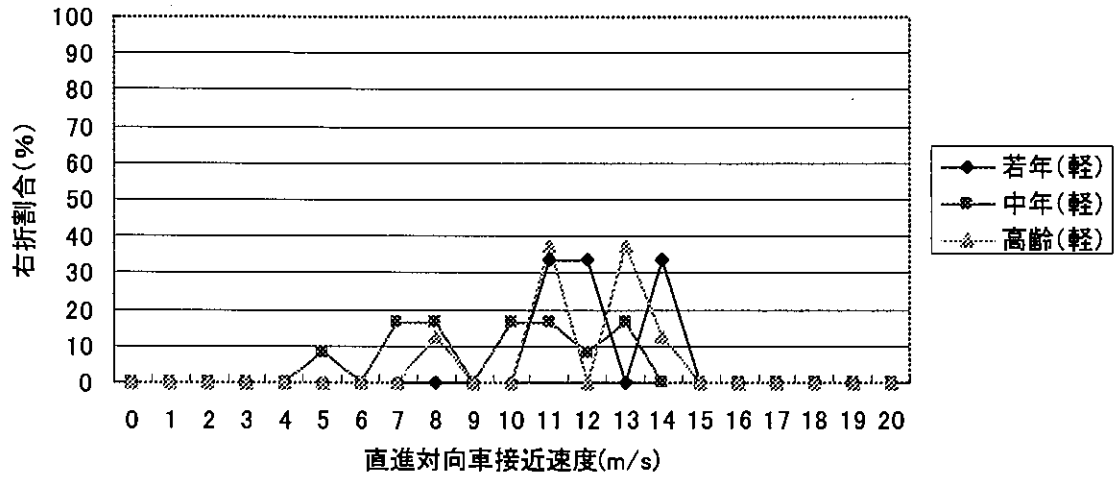


図4-38 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度—軽自動車

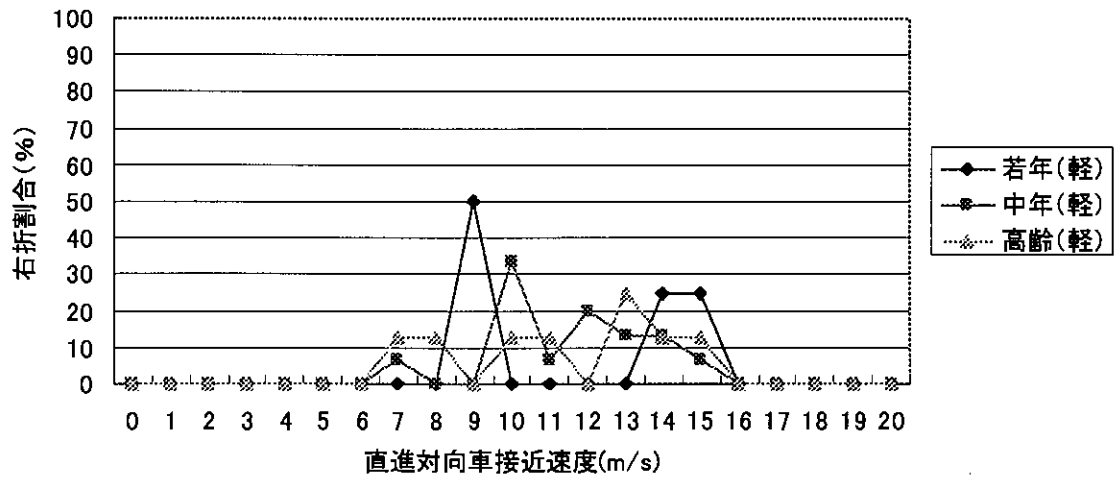


図4-39 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度—軽自動車

男性

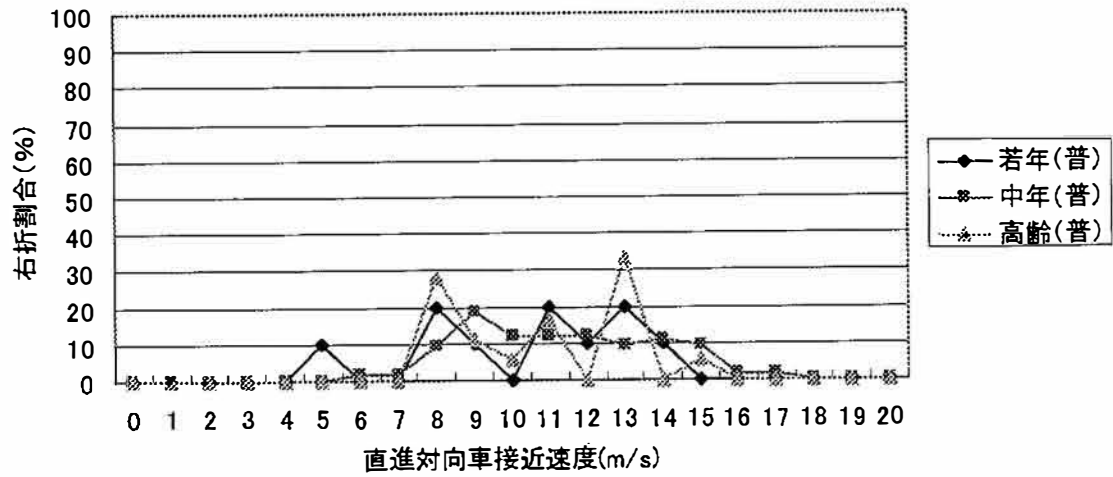


図4-40 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度—普通

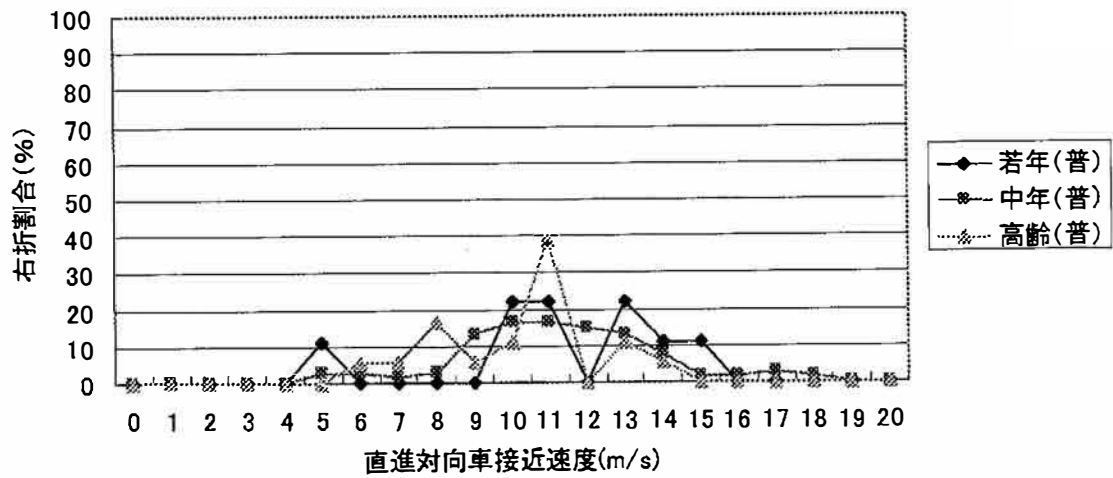


図4-41 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度—普通車

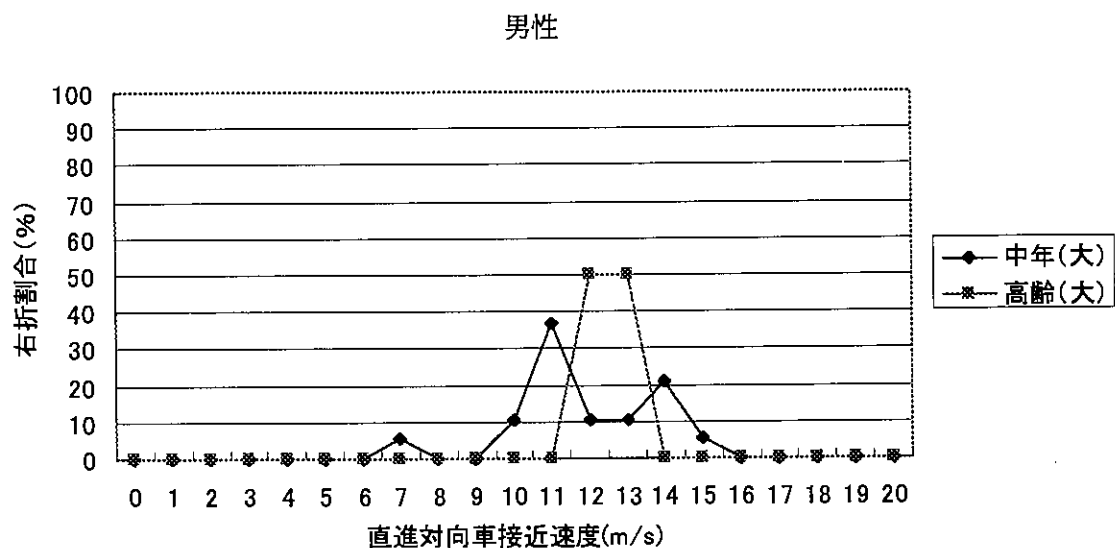


図 4 - 4 2 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度—大型車・貨物車

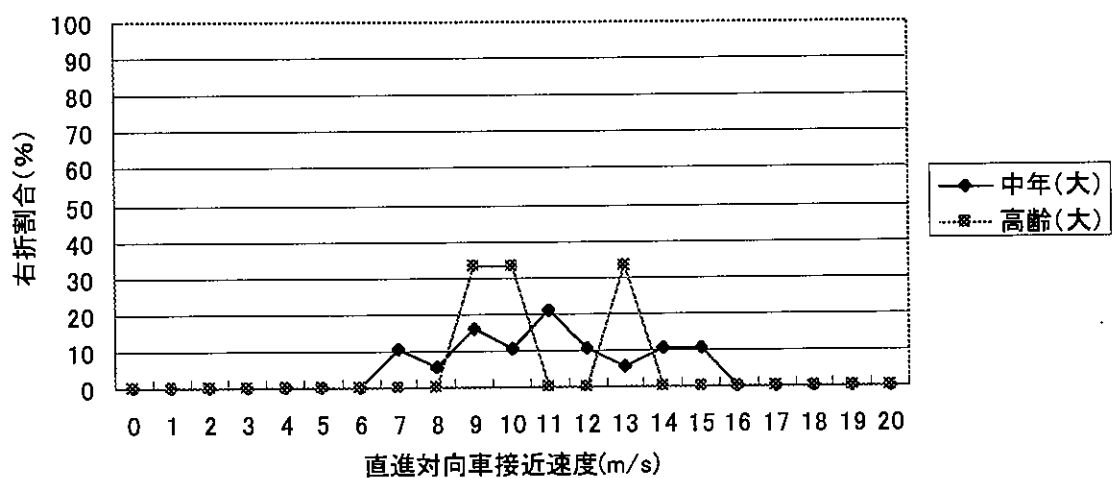


図 4 - 4 3 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度—大型車・貨物

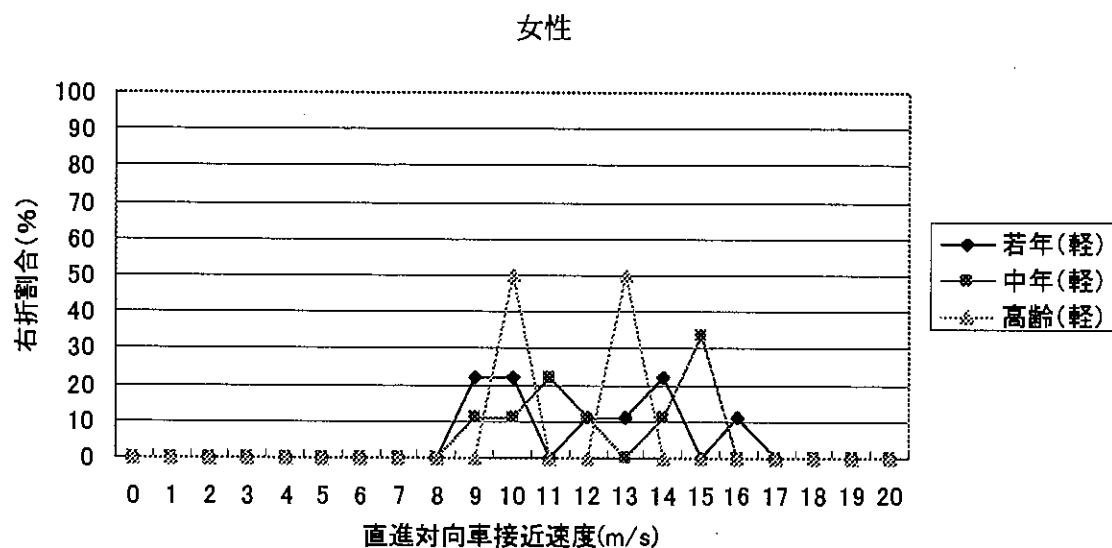


図4-44 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度－軽自動車

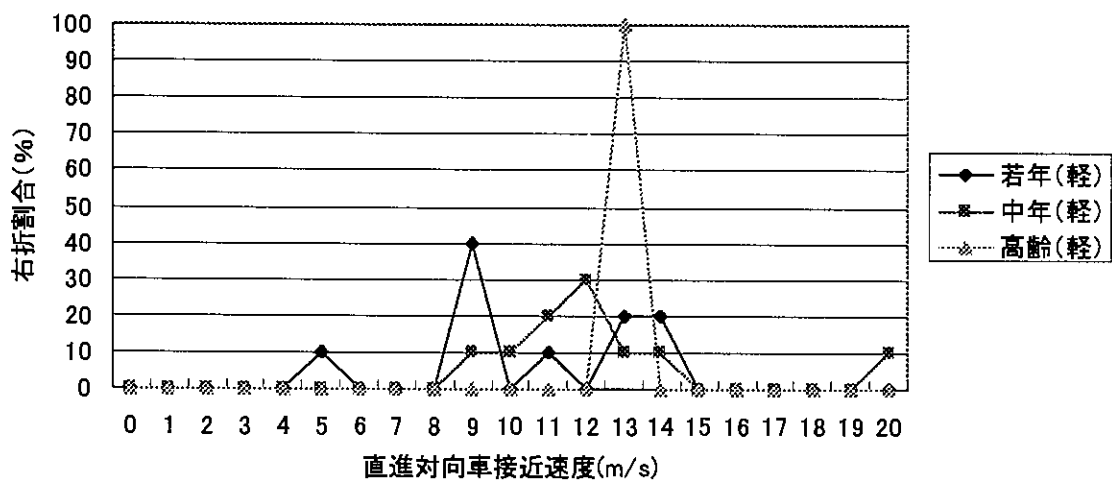


図4-45 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－軽自動車

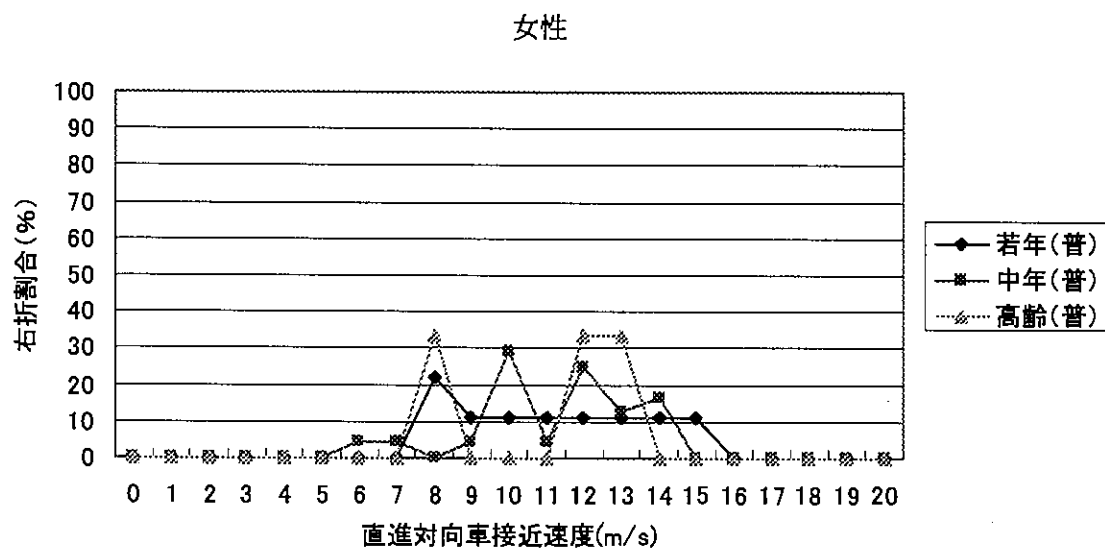


図4-46 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度－普通車

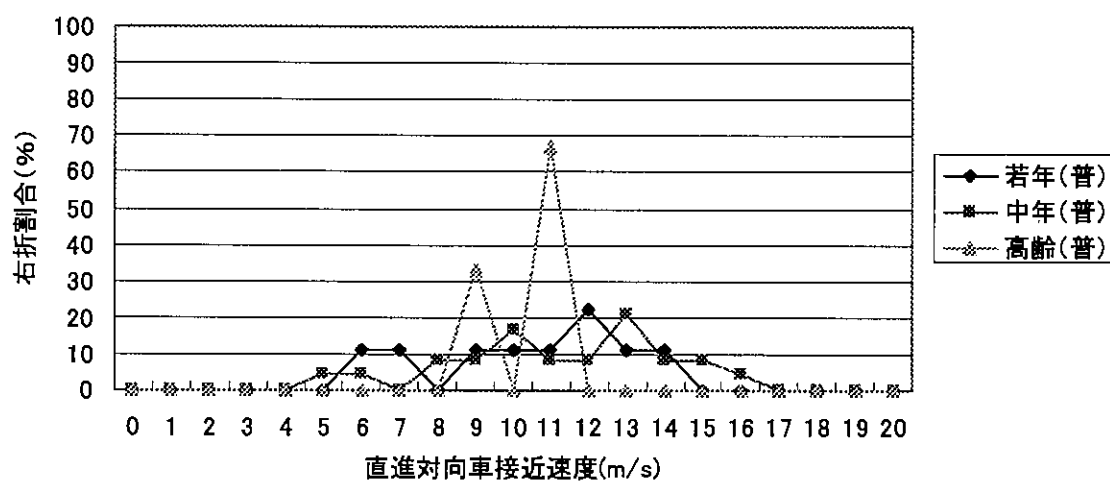


図4-47 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－普通車

泉野出町における右折時の直進対向車接近速度

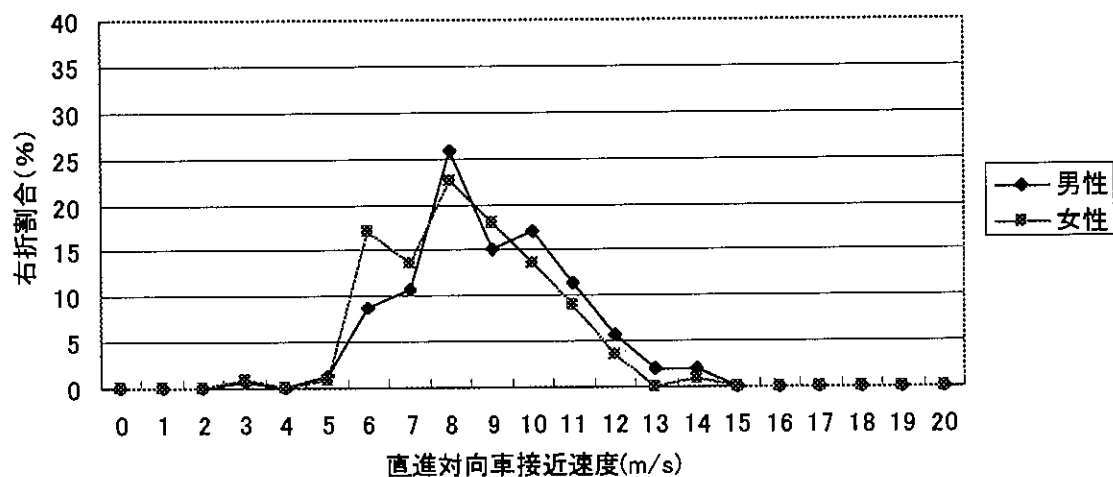


図 4 - 4 8 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度－性別

|         | 男性   | 女性   |
|---------|------|------|
| 平均：速度・前 | 8.91 | 8.37 |

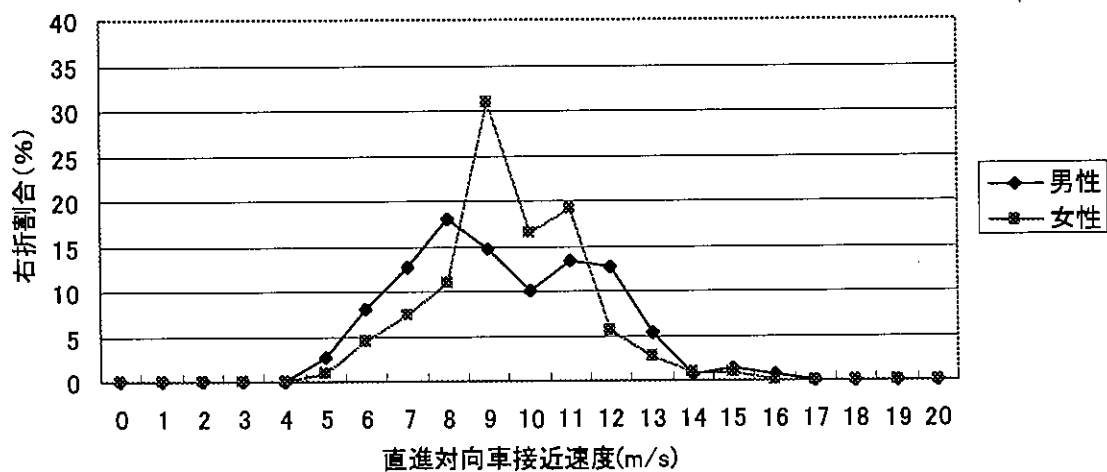


図 4 - 4 9 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－性別

|         | 男性   | 女性   |
|---------|------|------|
| 平均：速度・後 | 9.34 | 9.49 |

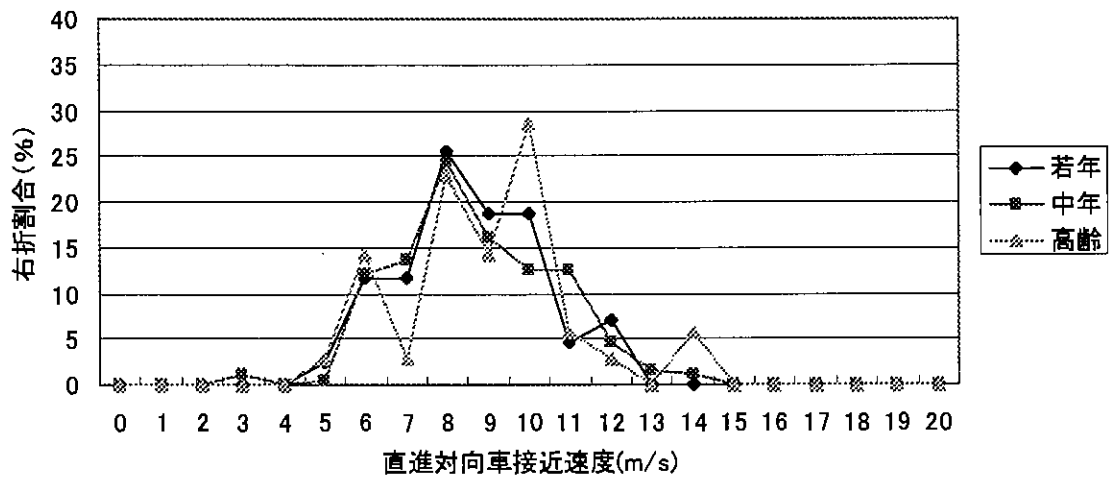


図 4-5 0 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度一年齢別

|         | 若年   | 中年   | 高齢   |
|---------|------|------|------|
| 平均：速度・前 | 8.56 | 8.67 | 8.94 |

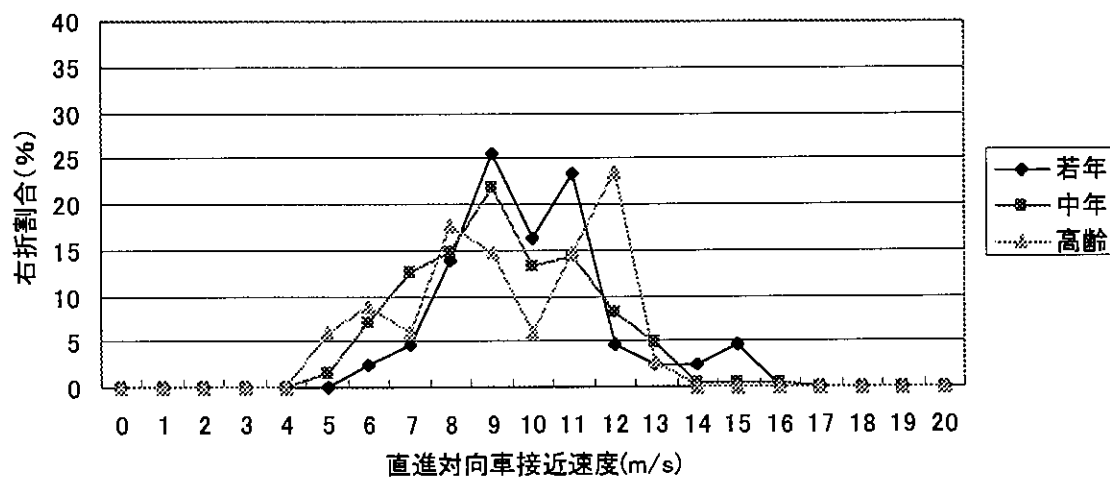


図 4-5 1 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度一年齢別

|         | 若年   | 中年   | 高齢   |
|---------|------|------|------|
| 平均：速度・後 | 9.95 | 9.28 | 9.38 |

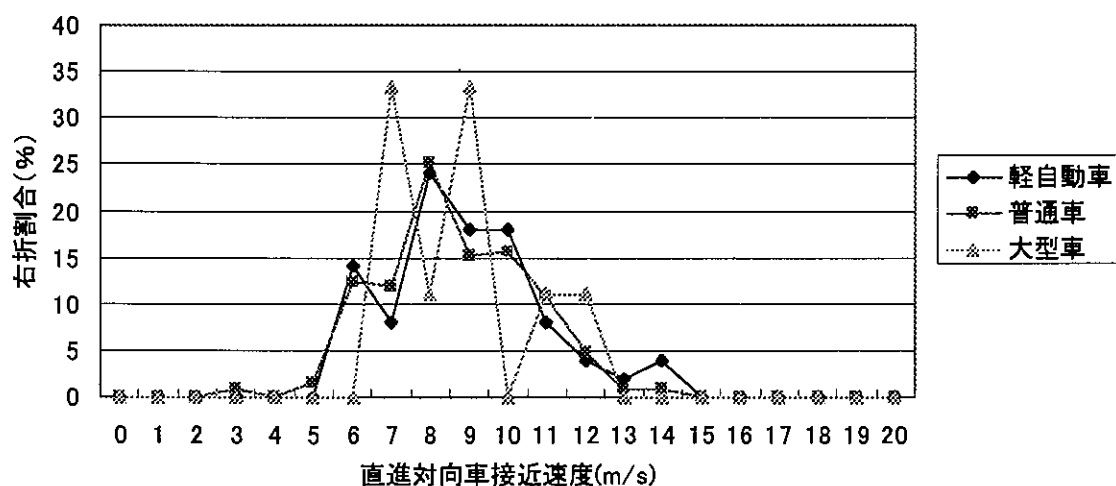


図 4 - 5 2 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度一車種

|         | 軽自動車 | 普通車  | 大型車  |
|---------|------|------|------|
| 平均：速度・前 | 8.92 | 8.63 | 8.78 |

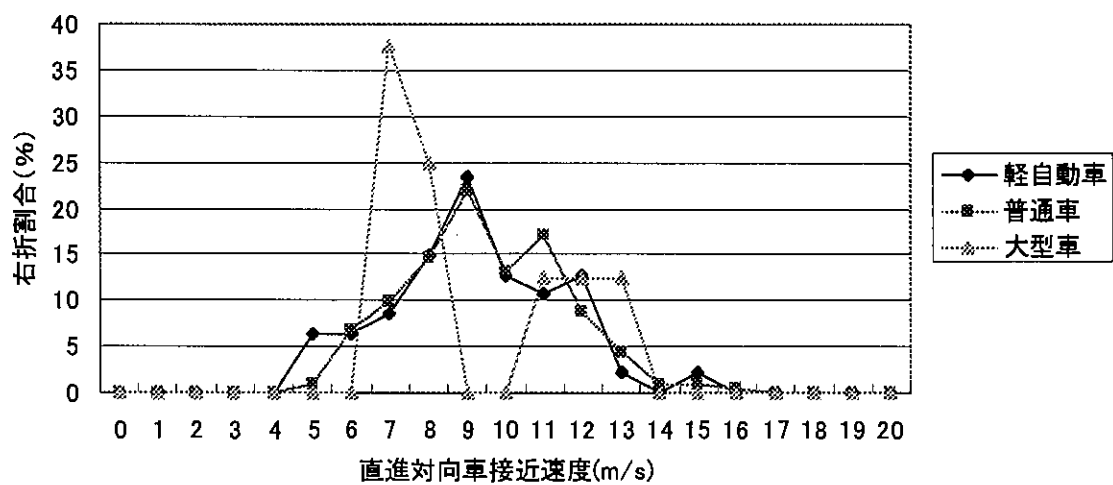


図 4 - 5 3 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度一車種

|         | 軽自動車 | 普通車  | 大型車  |
|---------|------|------|------|
| 平均：速度・後 | 9.17 | 9.47 | 9.13 |

男性

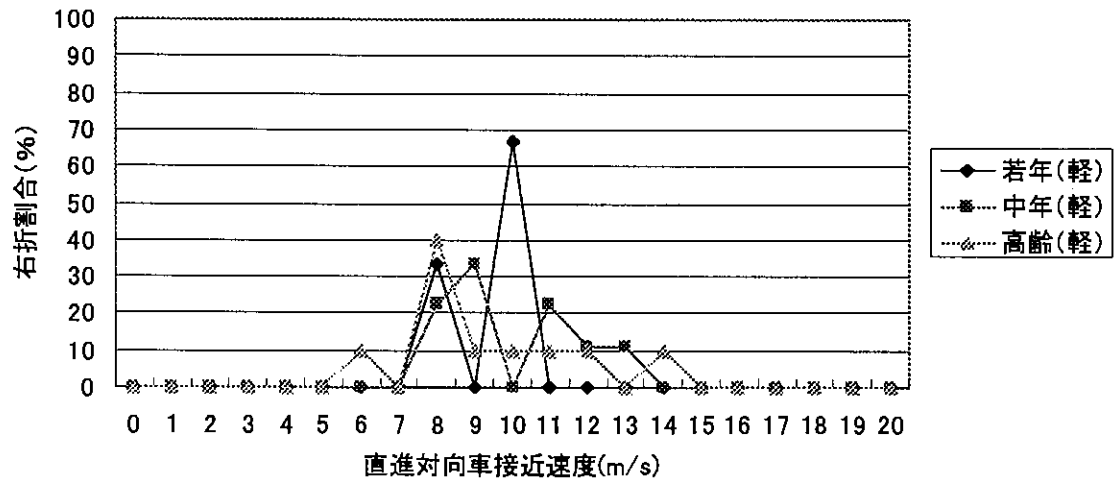


図 4 - 5 4 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度－軽自動車

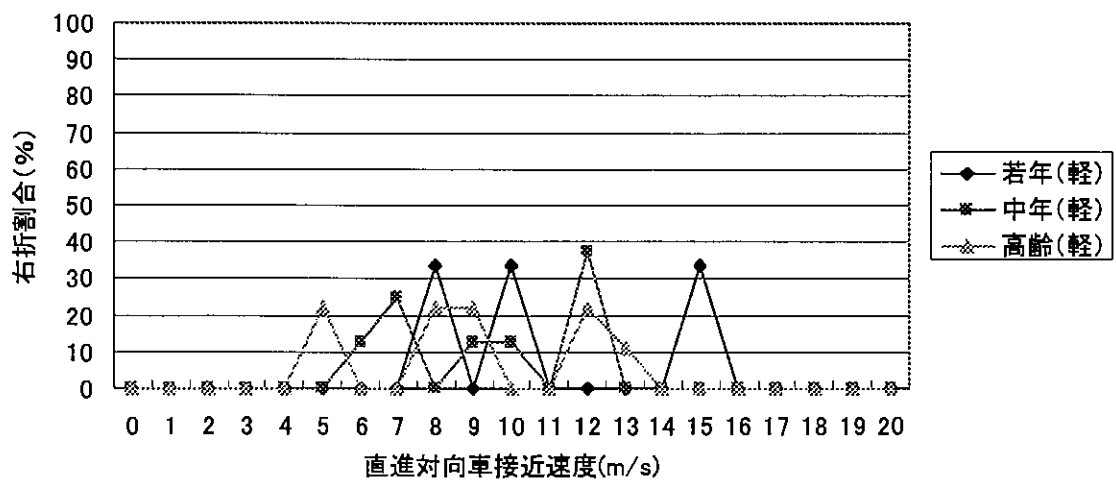


図 4 - 5 5 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－軽自動車

男性

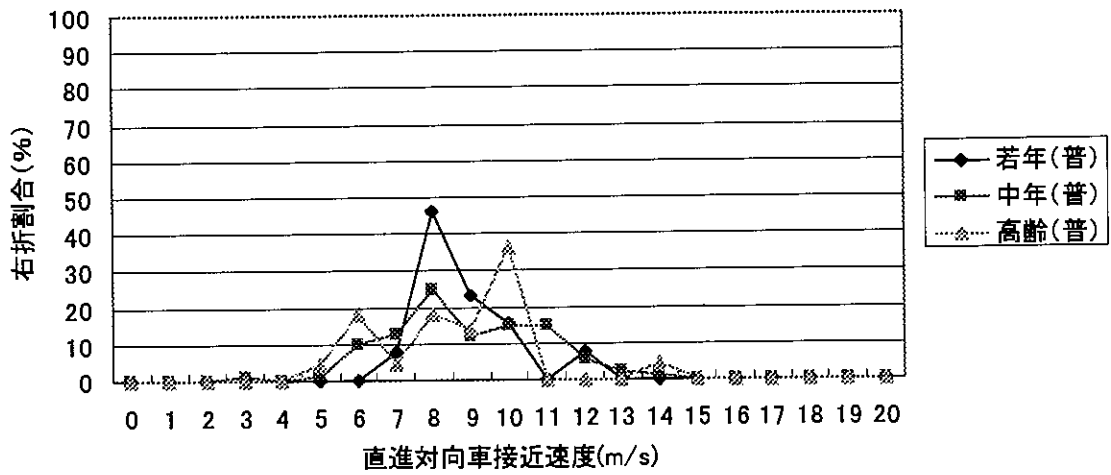


図4-56 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度－普通車

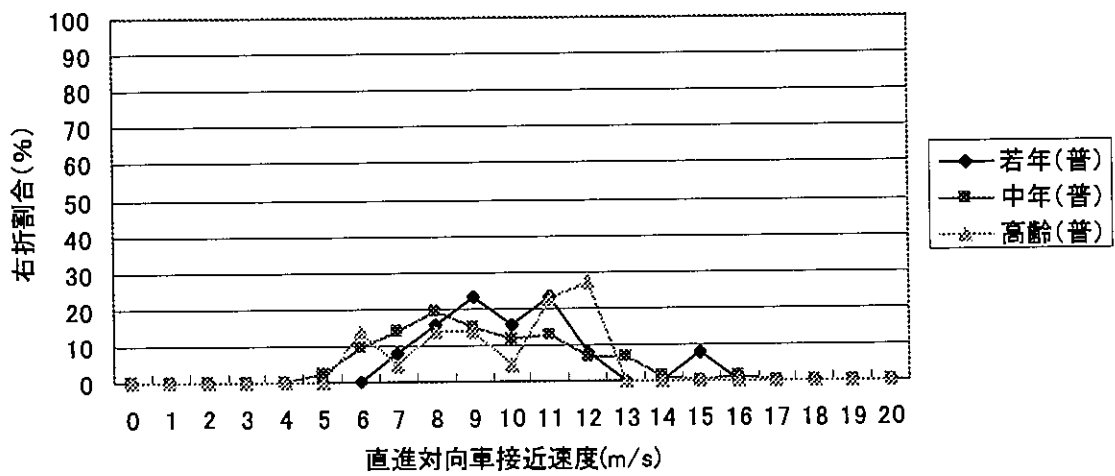


図4-57 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－普通車

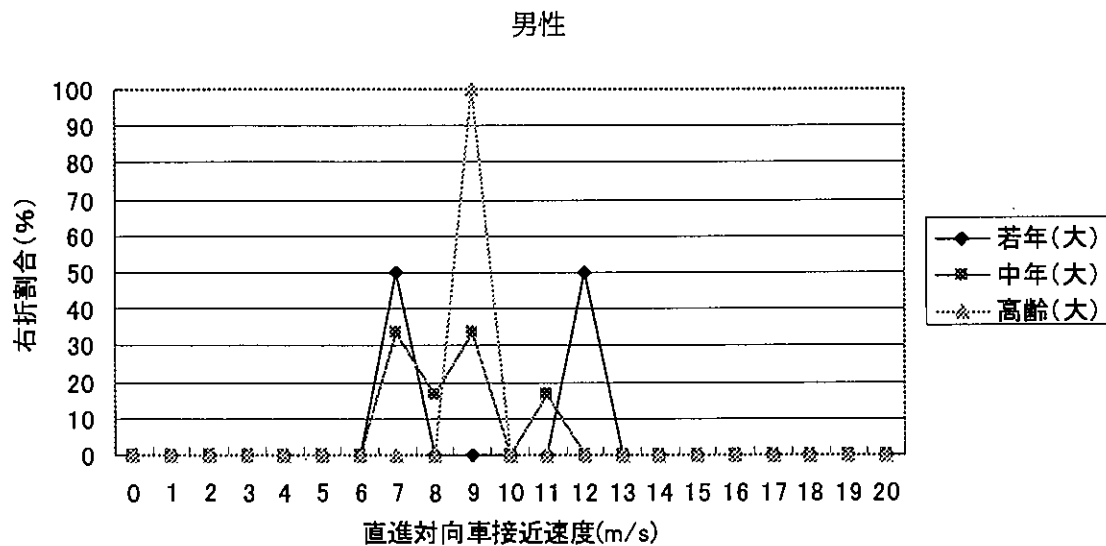


図 4-58 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度—大型車・貨物車

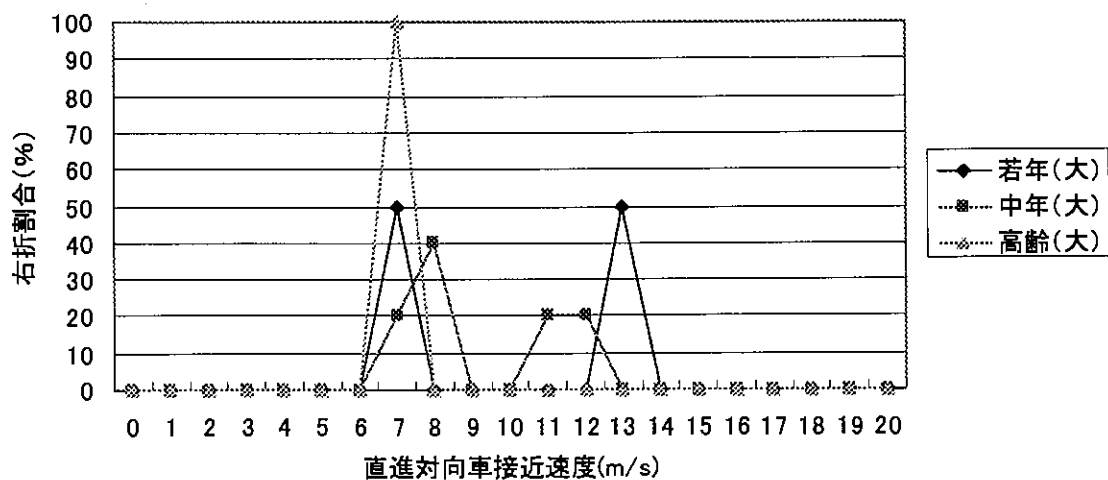


図 4-59 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度—大型車・貨物車

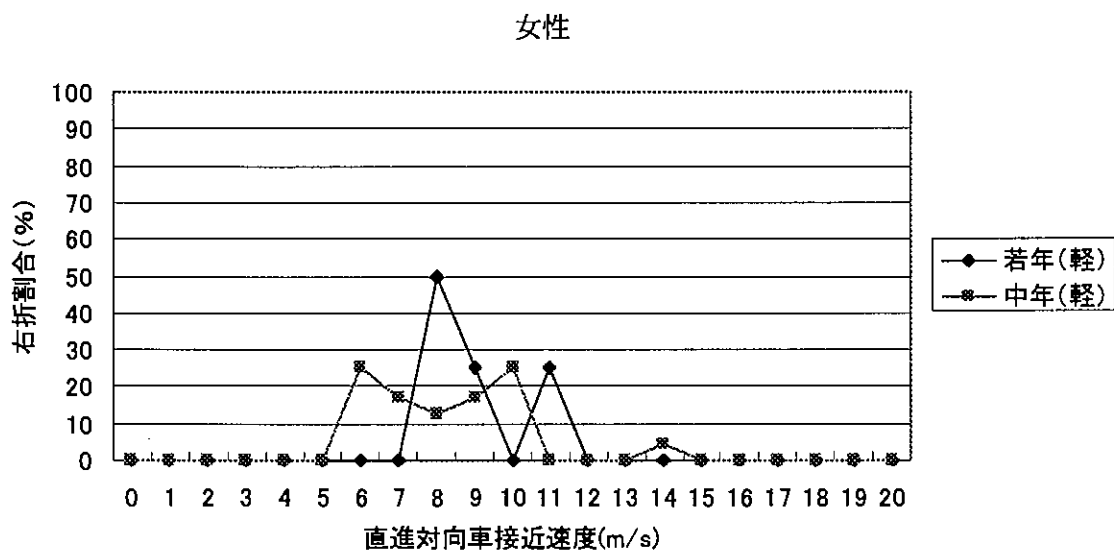


図 4 - 6 0 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－軽自動車

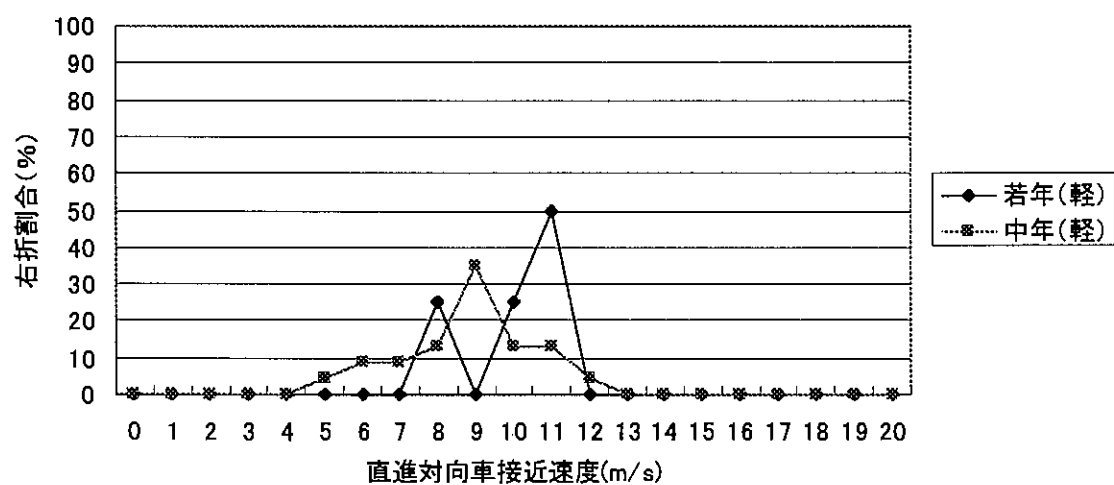


図 4 - 6 1 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－軽自動車

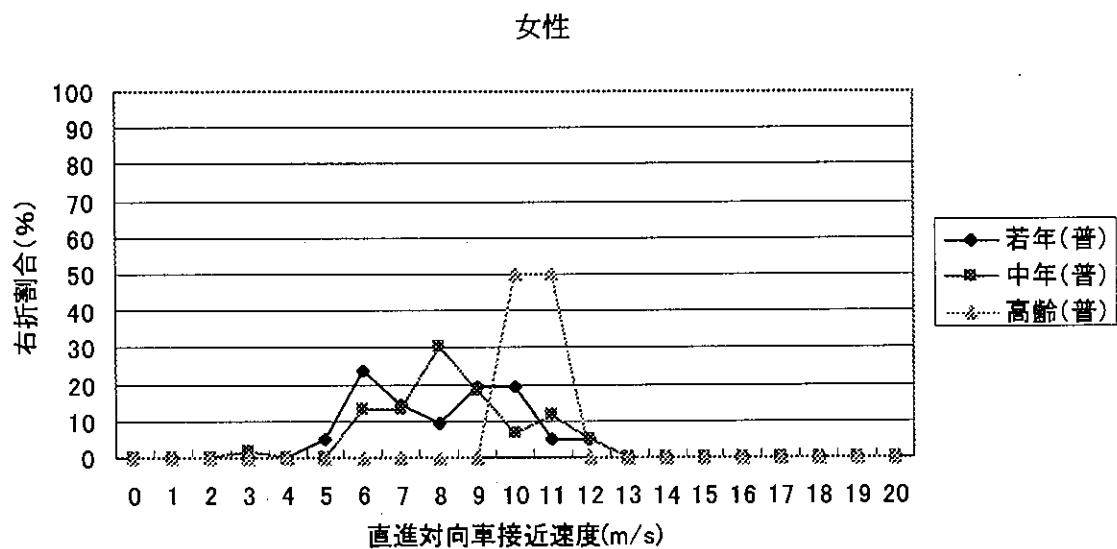


図 4 - 6 2 右折時の直進対向車（前走行車）接近速度－普通

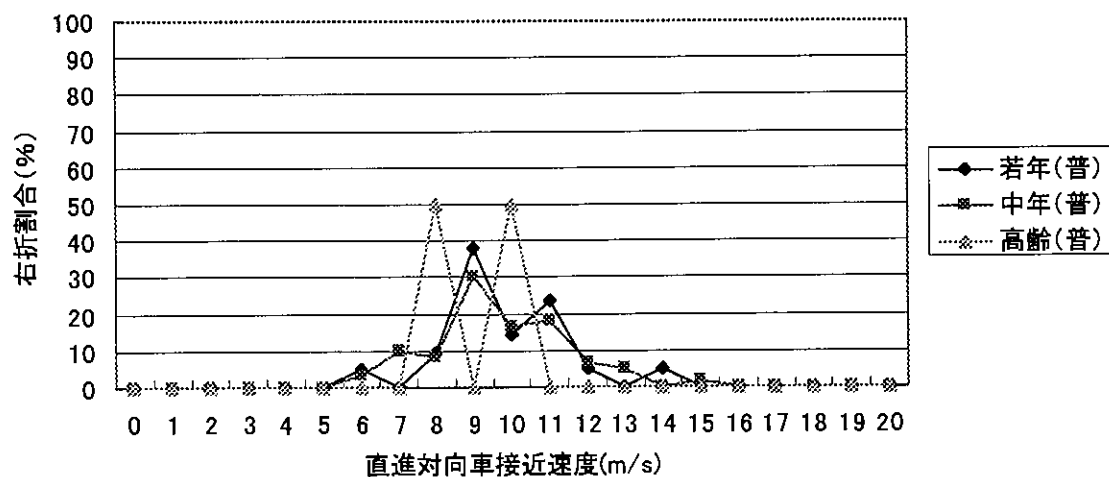


図 4 - 6 3 右折時の直進対向車（後走行車）接近速度－普通

(3) 停止位置に関する集計結果

表 4 - 3 サンプル数 (停止位

性別

|    | 小坂町      | 平和町      | 泉野出町     |
|----|----------|----------|----------|
| 男性 | 334(74%) | 541(56%) | 539(70%) |
| 女性 | 120(26%) | 418(44%) | 229(30%) |
| 計  | 454      | 959      | 768      |

年齢別

|    | 小坂町      | 平和町      | 泉野出町     |
|----|----------|----------|----------|
| 若年 | 105(23%) | 153(16%) | 151(20%) |
| 中年 | 304(67%) | 686(72%) | 521(68%) |
| 高齢 | 45(10%)  | 120(13%) | 96(13%)  |
| 計  | 454      | 959      | 768      |

車種別

|      | 小坂町      | 平和町      | 泉野出町     |
|------|----------|----------|----------|
| 軽自動車 | 133(29%) | 200(21%) | 152(20%) |
| 普通車  | 277(61%) | 735(77%) | 545(71%) |
| 大型車  | 44(10%)  | 24(3%)   | 71(9%)   |
| 計    | 454      | 959      | 768      |

### 小坂町における停止位置

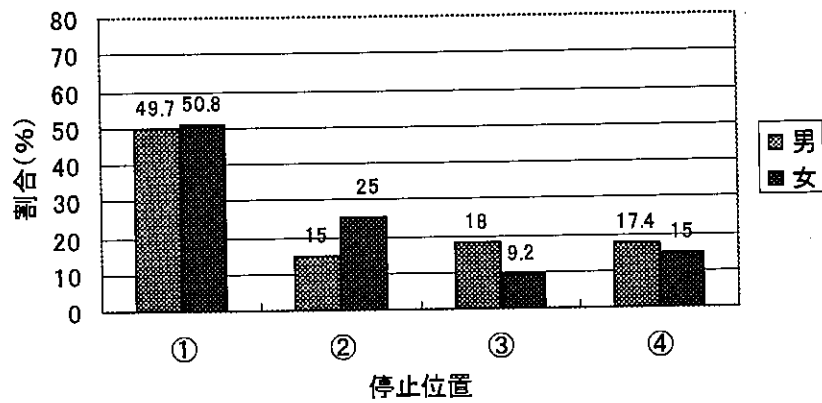


図 4 - 6 4 停止位置 - 性別

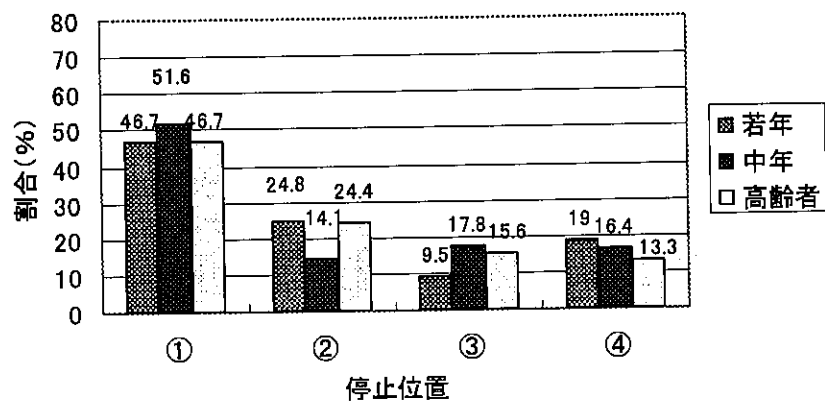


図 4 - 6 5 停止位置 - 年齢

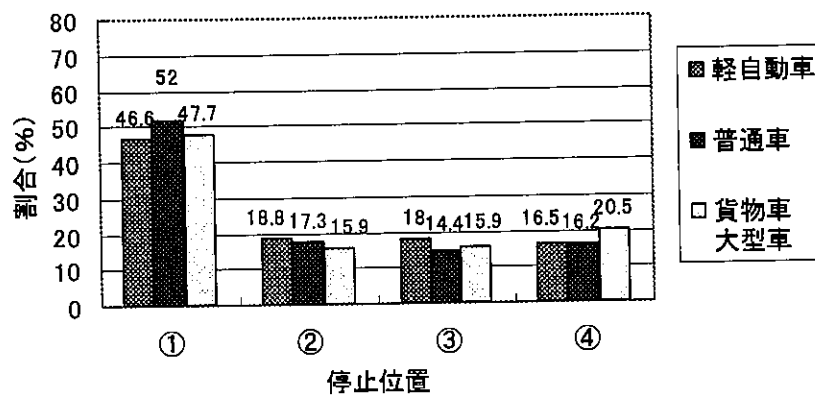


図 4 - 6 6 停止位置 - 車種

# 平和町における停止位置

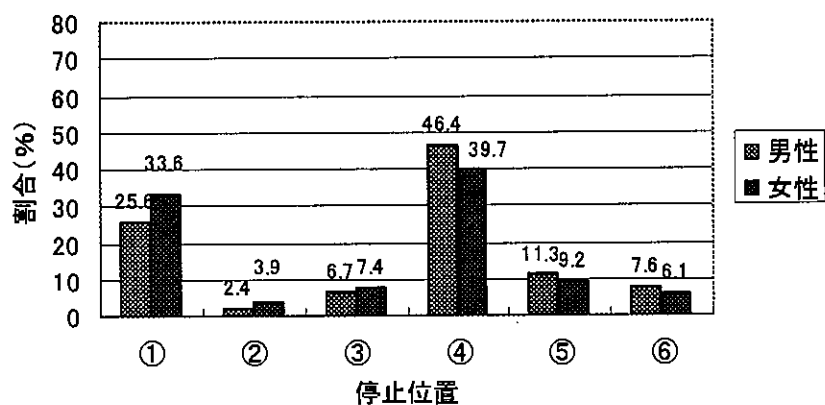


図 4 - 6 7 停止位置 - 性別

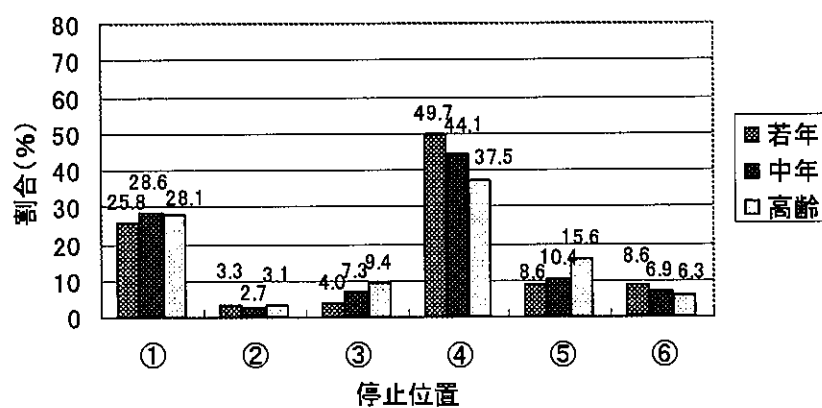


図 4 - 6 8 停止位置 - 年齢

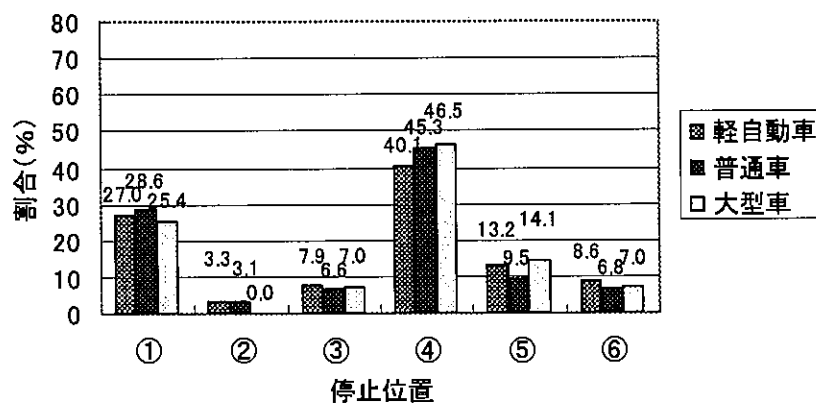


図 4 - 6 9 停止位置 - 車種

泉野出町における停止位置

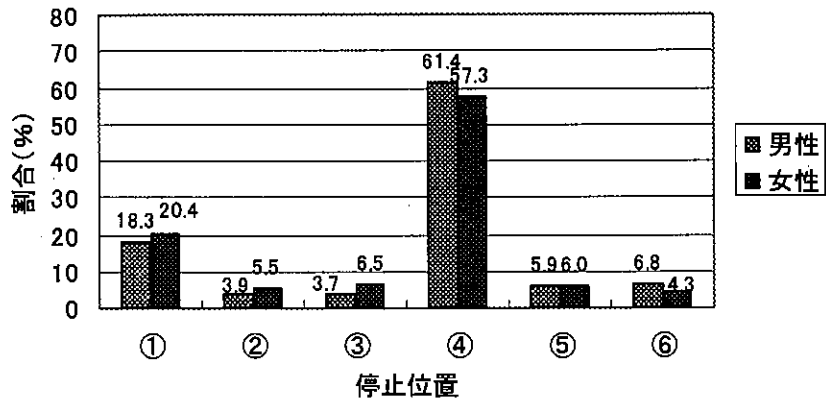


図 4 - 7 0 停止位置 - 性別

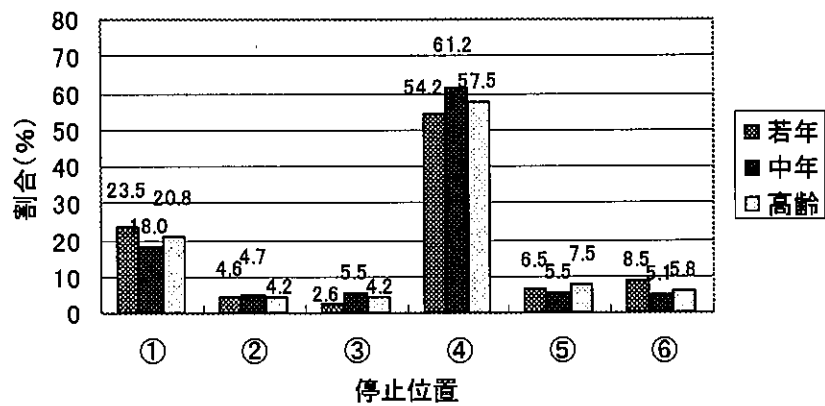


図 4 - 7 1 停止位置 - 年齢

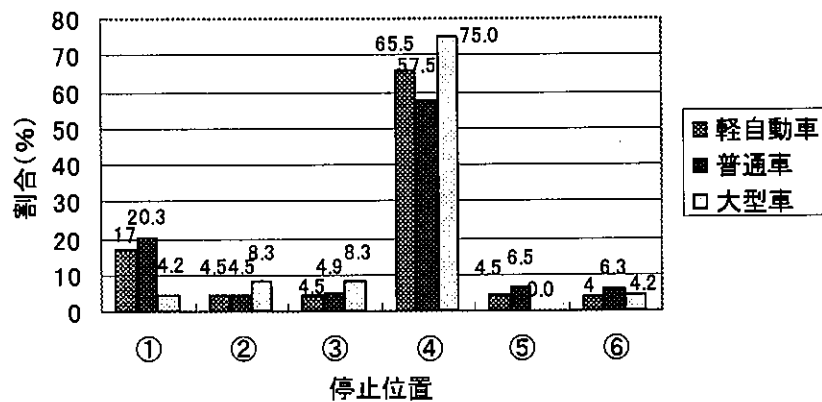


図 4 - 7 2 停止位置 - 車種

#### (4) 横断歩行者の有無に関する集計結果

交差点内において右折時に横断歩行者有りの割合  
平和町

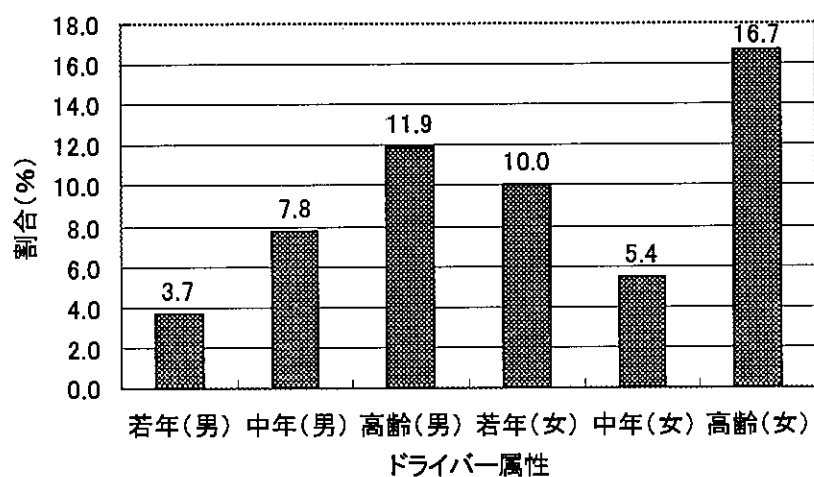


図4-73 平和町における右折時横断歩行者の有無

泉野出町

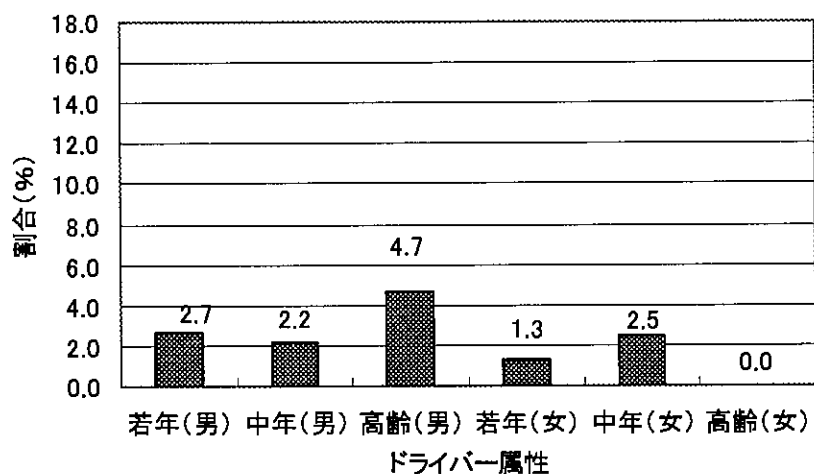


図4-74 泉野出町における右折時横断歩行者の有無

## (5) 危険右折行為に関する集計結果

ここでは、危険右折行為として直進対向車が存在するにも関わらず、信号が赤から青に変わってすぐに右折した場合について集計した。この行為は歩行者や直進車に隠れた２輪車との接触事故を起こしかねない非常に危険な行為である。今回ビデオ調査した結果、泉野出町でこの危険行為が目立ったため分析した。その結果を下の図に示す。

表 4－4 危険右折行為サンプル数

| 男性 |    |    | 計  | 女性 |    | 計  | 総計 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 若年 | 中年 | 高齢 |    | 若年 | 中年 |    |    |
| 3  | 15 | 9  | 27 | 2  | 11 | 13 | 40 |

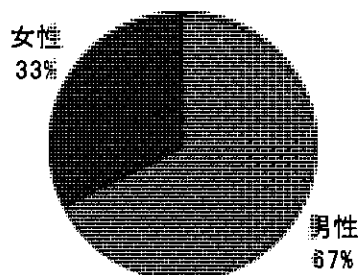


図 4－7 5 危険右折行為一性別割合

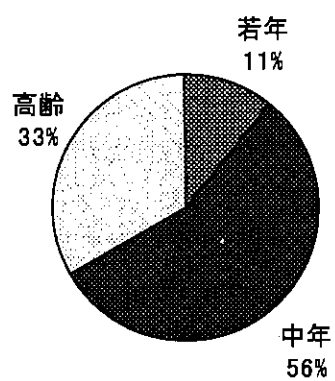


図 4 - 7 6 男性内訳

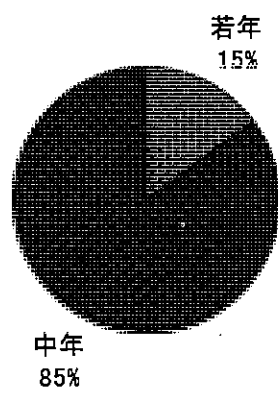


図 4 - 7 7 女性内訳

#### 4-6 ビデオ撮影による交通行動特性の実態調査集計に関する考察

本研究ではビデオ調査において高齢者の交通行動特性を見出し、何らかの交通事故要因を見つけだすことを目的とする。ここでの調査では、観測者の判断により属性を把握している。また、車頭時間について 15 秒以上というデータは省いた。これは、例えば車頭時間 16 秒で速度 30km/h であるとする車頭時間は約 133m と車頭時間が長くなり、右折行動における交通行動特性を把握するための分析にふさわしいデータとして不適であるため車頭時間 15 秒以上のデータは省いた。調査地点は小坂町交差点、平和町交差点、泉野出町交差点であり、図 4-2、図 4-3、図 4-4 に示す。特徴としては小坂町交差点は国道 159 号線上にあり、右折車は東金沢駅方向に向かい、直進車は森本方面へ走行し非常に交通量の多い交差点である。平和町交差点は県道 144 号線上にあり、右折車は泉野方面に向かい、直進車は寺町方面に向う。近くに市立病院もあり歩行者も多い交差点である。泉野出町交差点は県道 45 号線上にあり、右折車は有松方面に向かい、直進車は金沢市中心部に向う車で交通量は多い交差点である。歩行者は平和町に比べ少ない。

交差点での実態調査ではサンプル数は表 4-1 のような結果となった。性別では全体として女性よりも男性の方が高い比率となった。交差点別では小坂町と平和町で同じ割合となったが、泉野出町交差点では女性の割合が他の交差点に比べ高い。年齢別では平和町で高齢者の割合が高くなっている。これは平和町に金沢市立病院があるためと思われる。車種別では小坂町と平和町で同じような割合となったが、泉野出町では軽自動車、貨物車・大型車の割合が少ない。高齢ドライバーの内訳として表 4-2 より平和町、泉野出町では高齢者の女性が少ないこと、全体として高齢者の貨物車・大型車のサンプル数が非常に少ないことがわかる。また、軽自動車の割合が高いことから高齢者の軽自動車への依存度が高いことがわかる。

右折車の車頭時間について分析すると交差点別では図 4-5 より、どの交差点も同じような傾向となっている。性別では図 4-9、図 4-12、図 4-15 より各交差点とも男性よりも女性のほうが短い車頭時間でピークが現れており、男性よりも危険な右折行動をすることが分かる。しかし、年齢別で見ると図 4-10、図 4-13、図 4-16 より小坂町の方が他の交差点よりも高齢ドライバーの車頭時間が長くなっていることが分かる。これは、小坂町交差点の対向車線が 2 車線であり、右折しにくいことから慎重になったのではないかと考えられる。他の交差点についてみると高齢ドライバーは若年、中年ドライバーよりも短い車頭時間で右折していることがわかる。このことから比較的大きく、交通量の多い交差点では慎重になり右折をためらっているが、小さな交差点では短い車頭時間でも右折していることが分かる。車種別では軽自動車の車頭時間はどの交差点でも短い車頭時間でピークが現れている。また、貨物車・大型車はその走行性上、長い車頭時間でピークを示している。普通車は軽自動車と貨物車・大型車の中間の値でピークを示している。

更に詳しく分析すると、年齢別グラフより、どの年齢でも軽自動車の車頭時間は短い値

でピークを示しており、年齢による差は無いように考えられるが、割合で見ると図 4-18、図 4-23 より若年男性と高齢女性において短い車頭時間で著しい割合のピークを示していることがわかる。車種別グラフで分析すると、図 4-24 より若年男性の軽自動車、図 4-27 より高齢女性の軽自動車において短い車頭時間の時に右折する割合が高いことがよくわかる。図 4-8 から軽自動車については小回りがきくために車頭時間が短くなると考えられる。しかし、若年男性と高齢女性という心身ともに両極端とも考えられるドライバーが、同じような車頭時間であるという興味深い結果となった。

右折時直進対向車接近速度に関して、ここでの前方走行車（前車）、後方走行車（後車）とは右折車が対向車の間隙をぬって右折する時の間隙の前後の対向車のことである。また、前方走行車は右折車が右折時にやり過ごした対向車であり、後方走行車は右折車が右折する時に見る対向車のことである。直進対向車接近速度に関しては右折時における直進対向車の前方走行車、後方走行車を分析することにより見逃した接近速度と右折した後の接近速度の違いを求めるとともに、特に後方走行車の分析をすることによりドライバー属性ごとの危険性を導くことを目的とする。

右折時の直進対向車接近速度について分析すると、図 4-29 より平和町では前走行車よりも後走行車の方が速度のばらつきが少ない事がわかる。図 4-30 より泉野出町では後走行車の方が速度が速い事がわかる。また、図 4-31 より泉野出町よりも平和町の方が直進対向車接近速度が速いことが分かる。これは平和町の方が 1 時間当たり 350 台の交通量であり泉野出町の 1 時間当たり 500 台に比べ少ないこと、交差点が泉野出町よりも大きいことなどが挙げられる。

平和町について性別で分析すると、図 4-32 より前方走行車は平均では女性のほうが見逃した速度は速いが、ピークでは女性のほうが遅い速度を見逃していることが分かる。また、図 4-33 より後方走行車については女性のほうが速い接近速度でも右折していることがわかる。年齢別で分析すると図 4-34、図 4-35 より前方走行車、後方走行車ともに平均で見るとどの年齢でもほとんど差は見られないが、後方走行車では若年でばらつきが大きいことがわかる。これは、若年はまだ運転経験が浅いために右折をためらう場合や強引に右折する割合が高いのではないかと考えられる。車種別で分析すると図 4-36 より大型車は対向車接近速度が速いと他の車種よりも対向車を見逃す割合が高く、車頭時間からも無理な右折をしないことが分かる。しかし、図 4-37 より後方走行車について見ると軽自動車の右折時の平均対向車接近速度は他の車種よりも速いことが分かる。軽自動車に関しては車頭時間でも他の車種より短い場合に右折する割合が高く、小回りが利くためと思えるが、余裕をもって右折する割合が少ないように思える。

更に詳しく分析すると、図 4-39 より車種別に見ると若年男性の軽自動車では後方直進対向車接近速度が遅い場合と速い場合に右折割合が分かれていること、図 4-40、図 4-41 より普通車ではどの年齢でも同じような結果となることがわかる。女性では高齢者のサンプル数が少なかったためグラフは分かりにくくなってしまったが、図 4-45 より若年の軽

自動車で後方直進対向車接近速度が遅い場合に右折する割合が高いことが分かる。

泉野出町について分析すると、性別では図 4-48 より前方走行車ではほとんど差は見られないが、図 4-49 より後方走行車のピークが 9m/s で高い値を示している。年齢別では、図 4-51 より後方走行車で平均で若年がやや速い事がわかるが、ピークは高齢者が 13m/s で高い値を示している。車種別では、図 4-53 より後方走行車で大型車が 7m/s で非常に高いピークとなっており、慎重に右折していることが分かる。

泉野出町について更に詳しく分析すると、男性では、図 4-55 より若年の軽自動車において、直進対向車が速い速度であっても右折する傾向があること、図 4-57 より高齢者の普通車においては後方走行車が速い値でピークを示していることが挙げられる。女性では図 4-60、図 4-62 より中年の軽自動車と若年の普通車で直進対向車が遅くても右折しない傾向があることがわかる。

停止位置については、昨年度の小坂町のデータでは、①標準、②手前、③はみ出し、④停止しない、の 4 項目についてまとめられていたが、これに、⑤徐行、⑥信号無視、を加えることにより、より詳しい分析を行った。また、昨年度のデータは車頭時間のデータとして利用できるサンプル内から停止位置を求めているが、今回は車頭時間のデータだけでは各交差点のサンプル数が少ないため、すべてのデータを分析することにした。さらに、昨年度は右折時の歩行者の有無について調査されていなかったため、平和町交差点、泉野出町交差点に関して調査した。

停止位置に関するデータ整理により以下のことがわかった。小坂町交差点については、図 4-64 より男性は③（はみ出し）が女性よりも多く、女性の方は②（手前）での停止が多い結果となった。図 4-65 より年齢別では若年と高齢で②（手前）での停止が多く、若年は③（はみ出し）が少ないことがわかる。

平和町については図 4-67 より⑤（停止せず徐行）で右折する割合が男性で高く、女性は比較的①（停止位置）で停止している割合が高いことがわかった。図 4-68 より年齢別では高齢者が③（はみ出し）、⑤（徐行）が多い。図 4-69 より車種別では大型車は一旦停止すると加速がしづらいせいか、⑤（徐行）で右折する割合が高かった。泉野出町については対向車に含まれている路線バスが交差点手前の停留所に停止することがあるので、対向車の流れが止まり、右折車が一気に右折する割合が多かったため④（停止しない）が多くなってしまった。図 4-70 より性別では女性は②（手前）③（はみ出し）が多く男性は⑥（信号無視）が多い。図 4-71 より年齢別では若年は⑥（信号無視）が多い。図 4-72 より車種別では大型車は①（停止位置）が少なく②（手前）③（はみ出し）が多いという結果となった。

全体としてみると性別では女性は停止位置が男性に比べ手前であることがわかる。これは、対向車に対する恐怖心が男性よりも大きいのではないかと考えられる。また、男性は信号無視が多く危険な右折行動を行っていることがわかる。年齢別では若年は信号無視が多く危険な運転をする傾向がある。中年ははみ出して停止する割合が多く、対向車に対す

る恐怖心が小さいと考えられる。高齢者は停止せず徐行して右折する割合が多いが、小坂町のような対向車接近速度が速く 2 車線の大きな交差点では対向車に対する恐怖心からか手前で停止する割合が多い結果となった。車種別では大型車は停止せずに右折する割合が多いことがわかった。

右折時における横断歩行者の割合については平和町では横断歩行者が多く、泉野出町では歩行者が少ないため 2 つの交差点での割合はかなり異なる結果となった。平和町については図 4-73、図 4-74 より高齢者男性の右折車全体の 11.9%の割合で右折時に歩行者が存在し、高齢者女性では実に 16.7%の割合で存在する。高齢者男性・女性ともに右折時に歩行者が横断している割合が高く、高齢者が歩行者に関しての情報不足であることがわかる。また、若年女性についても 10.0%と割合が高く、同じ傾向がみられる。泉野出町交差点については高齢者女性のサンプル数が 14 台であったため十分なデータが得られなかった。しかし、ここでも高齢者男性の割合が 4.7%と高く、高齢ドライバーの交差点での横断歩行者に関する情報不足が原因であると思われる、その危険性があらためてわかった。

危険右折行為は、直進対向車が存在するにも関わらず信号が赤から青に変わってすぐに右折行動をする危険な行為である。特に泉野出町のような小さい交差点で多く見られる行為である。分析の結果、図 4-75 よりほとんどが男性であった。この割合は危険右折行為を行ったドライバーの内訳であるが、図 4-76 に示すように男性では中年が 56%と多いが、高齢者は 33%と若年の 11%よりも多く危険右折行為をする割合が高いことがわかった。女性では 85%が中年であった。サンプル数の多い中年は割合が高いことは分かるが、若年よりも全体のサンプル数が少ない高齢ドライバーの方が若年の 3 倍も危険右折行為をすることから、老人らしからぬ思い切った行動をとることがわかった。

## 4-7 まとめ

### (1) 本研究の成果

高齢ドライバーの事故として多い交差点での直進車と右折車について、高齢者の交通行動特性に関する実態調査による結果から高齢ドライバーが右折時にどのような行動特性を示すのかについてまとめる。

高齢ドライバーの右折する車頭時間については、全体として高齢者は他の年齢に比べ長い傾向があることがわかった。大きな交差点では車頭時間は長い傾向が強く、逆に小さな交差点では車頭時間は短い傾向があった。特に男性の若年が運転する軽自動車と、女性の高齢者が運転する軽自動車とで車頭時間が非常に短いという同じ傾向がみられた。これは体力的に正反対であると思える若年男性と高齢女性とで同じ行動をとることは非常に危険な交通事故要因といえるのではないだろうか。右折時直進対向車接近速度では右折をやり過ぎた速度は他の年齢層よりも速い場合と遅い場合に分かれた。これは、右折にためらったためであると思えるが、右折時の直進対向車接近速度は速い速度で右折する割合が高くなっていることより、動体視力の低下が影響しているのではないかと考えられる。停止位置については比較的大きな交差点では停止線よりも手前に停止する割合が高いが、小さな交差点では停止せず徐行しながら右折する割合が高い。これは大きな交差点では対向車に対する危険を感じているが、小さな交差点では徐々にはみ出すという行動をとる傾向があり、対向車に対する危険をあまり感じていないのではないかと考えられる。右折時の横断歩行者に関しては高齢ドライバーは歩行者が横断中にもかかわらず右折する割合が非常に高いことがわかった。歩行者に対する注意力の低下が露呈した形となった。また、危険右折行為としては直進対向車が存在するにも関わらず信号の変わり目に強引に右折する割合が中年で56%と最も多いが、高齢者は若年の3倍の33%をしめており、思い切った行動をとることがわかった。以上の結果より、高齢ドライバーは運転時の視野が狭く、視力、運動力、判断力の低下が右折行動に危険を及ぼす要因となっているように思える。

以上の結果より、高齢者の交通行動に関する実態調査から交差点での右折行動特性に関して、以下のことがわかった。

1) まず、車頭時間に関しては大きな交差点では慎重に右折するのに対し、小さな交差点では短い車頭時間でも右折する傾向があること、軽自動車は小回りが利くために短い車頭時間でも右折する割合が高いこと、若年男性の運転する軽自動車と高齢女性の運転する軽自動車で車頭時間が短く危険性が高いことがわかった。

2) 右折時の直進対向車接近速度では、高齢者は直進対向車接近速度が速い場合と遅い場合で右折する割合が高く、動体視力の低下による影響が現れていると考えられる。

3) 停止位置については、若年は信号無視が多く強引な右折行動をとること、中年ははみ出して停止する割合が高く対向車に対する恐怖心が少ないと考えられること、高齢者は

停止せず徐行しながら右折する割合が高いが、大きな交差点では対向車に対する恐怖心からか停止位置の手前で停止する割合が高いことがわかった。

4) 右折時の横断歩行者の有無に関する調査では、高齢ドライバーは他の年齢に比べ注意不足であることがわかった。

以上のことより、高齢ドライバーの右折行動には視力、体力、行動力、注意力の低下によると思われる危険な行動がみられる。特に横断歩行者に対して情報不足であり、対向車に対する意識のほうが強く、交差点での死亡事故に関わる問題として重要視しなければならないと感じた。

## (2) 本研究の問題点と今後の課題

本研究の問題点として、高齢者の交通行動に関する実態調査では高齢者のサンプル数として特に女性に関して少なかったことがあげられる。また、高齢歩行者の実態調査も行ない交差点での危険性について検証する必要がある。

今後の本研究の課題としては、高齢歩行者の実態調査を行ない、交差点での交通事故要因をドライバー側と横断歩行者側で比較することが望ましいと思われる。

## 4-8 参考文献

- 1) 加藤哲雄・豊田剛・川上洋司・本田義明、「高齢者に着目した交通事故の分析法に関する研究」、(土木計画学研究・講演集、No.22(1)、pp563-566、1999.10)
- 2) 山谷幸子、岸井隆幸、「高齢者の交通事故に関する研究」、(土木計画学研究・講演集 No.20(2)、pp795-798、1997.11)
- 3) 岸野啓一・明神証、「高齢者交通事故の分析」、(土木計画学研究・講演集、No.19(1)、pp235-238、1996.11)
- 4) 明神証、岸野啓一、北垣義晴、「交通行動からみた高齢者の交通事故死傷率とその地域比較」、(土木計画学研究・講演集、No.20(2)、pp799-802、1997.11)
- 5) 森健二・本間正勝・齋藤威、「信号交差点における右折車のギャップアクセプタンス特性のモデル化」、(土木計画学研究・講演集、No.18(2)、pp233-236、1995.12)
- 6) 木村一裕・清水浩志郎・白旗史人、「合流部における高齢ドライバーの運転特性」、(土木計画学研究・講演集、No.18(2)、pp241-244、1995.12)
- 7) 溝端光雄、「高齢ドライバーと高齢歩行者の交通特性について」、(国際交通安全学会誌、Vol.16、No.1、pp49-57、1990.3)
- 8) 小林 實、「高齢ドライバーの運転実態と事故特性」、(国際交通安全学会誌、Vol.9、No5、pp308-319、1983.12)
- 9) 高山純一・河合宏之・小寺一樹・井口祐子、「地方都市における高齢者の交通行動特性の比較分析に関する研究」、(土木計画学研究・講演集、No.20(2)、pp247-250、1997.11)
- 10) 石橋富和、「交通行動に関連しての高齢者の生活と心身能力」、(国際交通安全学会誌、Vol.9、No.5、pp290-299、1983.12)
- 11) 間宮貴史、三星昭宏、奥村康博、大西昇、「信号交差点における高齢歩行者の横断特性分析」、(土木計画学研究・講演集、No.21(1)、pp531-534、1998.11)
- 12) 吉村美保・浜岡秀勝・森地茂、「視距に着目した交通事故分析」、(土木計画学研究・講演集、No.22(2)、pp929-932、1999.10)
- 13) 木村一裕、清水浩志郎、伊藤營志広、加藤裕康、「高齢者のアクティビティに影響を与える要因について」、(土木計画学研究・講演集、No.21(1)、pp543-546、1998.11)
- 14) 鈴木春男、「高齢化社会における生活構造とモビリティに関する調査研究」、(国際交通安全学会誌、Vol.21、No.3、pp43-50、1996.2)
- 15) 木村一裕・小嶋孝和・横山哲・川上峰正・清水浩志郎、「運転者の注視点調査における室内実験の有効性の検討」、(土木計画学研究・講演集、No.19(2)、pp553-556、1996.11)
- 16) 大嶽教匡、山下聖真、嶋田喜昭、舟渡悦夫、「種々のドライバーからみた危険交差点情報の活用について」、(土木計画学研究・講演集、No.22(2)、pp947-950、1999.10)