

## 行動特性に基づいた

### 交差点における自転車空間の安全性評価\*

Evaluation of Safety for Crossing Cyclists  
Considering the Behaviors of  
Crossing Cyclists and Turning Vehicles

山田 稔\*\*

by Minoru YAMADA

On bicycle crossing zone in small intersections, the safety from collisions depends on the behaviors of cyclists and vehicle drivers.

From the survey of such bicycle crossing zone, the behaviors of cyclists, especially the distributions of crossing position, and the impact of accessing vehicles were clarified.

Evaluation model was built up to calculate the probability of collisions under the status of the behaviors from the survey with several assumptions about the behaviors.

Finally the effect of change of behaviors to the risks of collisions were analyzed with the simulation treatment of those behaviors for the evaluation model. Also it was discussed what is the safety behaviors and what is not.

#### 1. 序

##### (1) 自転車交通の対策とそれに関する研究

自転車交通は、オイルショック等の影響によって自転車利用が急激に増加した1970年代中頃より、道路交通において重要な位置を占めるようになっていく。そして安全面においては、道路交通法の1978年の改正において自転車が法的に定義されたことにより、自転車の安全を考えての各種の対策も法的な裏付けをもって実施されるようになってきた。この経緯やそれに伴った自転車交通に関する数多くの研究は高岸<sup>1)</sup>によってまとめられているが、なかでも、自転車走行の安全を扱った研究としては次のようなものがある。天野<sup>2)</sup>は自転車利用者へのインタビューにより事故経験を調べ分析しており、歩道走行

\* キーワーズ：交通事故，評価モデル，自転車交通

\*\*正員 工修 大阪大学工学部助手 土木工学科

(〒565 大阪府吹田市山田丘2-1)

自転車と歩行者との分離の問題に関しては、歩行者の行動を分析した高岸<sup>3)</sup>の研究、アンケート調査に基づいた山川<sup>4)</sup>の研究がある。自転車と自動車の交差点での衝突の危険性の問題に関しては、山川<sup>5)</sup>は錯綜現象を観測して分析しており、また筆者ら<sup>6)7)</sup>は信号交差点における横断自転車の行動を明らかにするとともに、錯綜の概念によりその危険性の評価を試みている。これらの自転車と自動車との衝突の危険性に関する研究は、いずれも交通量の多い車道の横断に関するものであり、また危険が存在する実態を示し、その大きさを評価したものである。

##### (2) 自転車道における交差街路の問題

幹線道路の路側に歩道等と共に設置される自転車道を考える場合、その幹線道路と直角に接続する地区内街路等の幅員の小さな道路との交差部分における自動車との衝突の危険性の問題を避けて考えることはできない。このような小さな交差点は個所数では信号機のある大きな交差点に比べてはるかに多い

が、そのために現実には高価な安全施設整備を行うことが難しく、自転車道の延長として自転車横断帯が設置されるだけのことが多い。そこで、このような場所における安全の問題は、そこを通る当事者がどれだけ安全な行動をとっているかが重要な要因となり、安全化を図る際にはより安全な行動がとられるように考えることが必要である。しかし、実際にどのような行動がとられているのか、それが安全面でどのような問題があるのかが明らかになっておらず、たとえば安全教育等によって行動の安全化を図ろうとする場合でも、どのように行動を改善すべきかが具体的には明らかでないという問題がある。

### (3) 研究の目的

本研究においては、幹線道路と地区内街路等の狭幅員の道路が交わる信号機のない交差点において自転車と自動車とが交錯するような現象を調査し、そこにおける各当事者の行動を明らかにするとともに、自転車横断帯の有無で比較することによってその影響を明らかにすることとした。次に、行動の危険性を評価するための方法として、このように交錯する当事者の行動に関して一定の仮定を設けた下での衝突の発生確率を調査データより求める方法を提案し、これを用いて各交差点での危険性を評価することとした。さらに、当事者の行動特性が変容した場合の危険性の変化を求めることによって自転車横断帯の有無による行動の差異が安全性に及ぼす影響を明らかにするとともに、安全面から望まれる行動について議論することとした。

## 2. 調査の概要

### (1) 交差点の選定

本研究においては、歩道や自転車道が整備された幹線道路と狭幅員の道路が交わる信号機のない交差

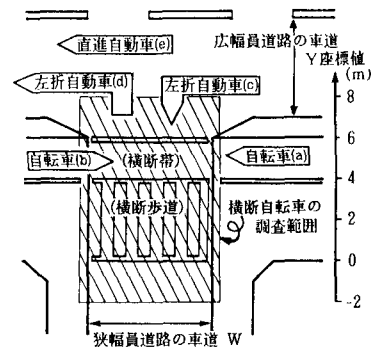
点の中から、自転車横断帯および横断歩道の設置の有無に差異があって、かつ他の条件はなるべく似かよった交差点を対象に行動の調査を行うこととした。大阪市内で自転車の交通量も多く自転車道の整備も進んでいる西区・港区を中心に、交差部分やアクセス部分における車道・自転車道・歩道の幅員や自転車・自動車の交通量の測定を行った。そして、これらに大きな差異のないように考慮し、表—1に示す5交差点を選び、6回の調査を行った。以降の分析では、これを各調査別に調査交差点番号①②…⑥と、また自転車横断帯・横断歩道の有無で交差点を分類し表のようにⅠⅡⅢと呼ぶこととした。

### (2) 調査内容

調査は、狭幅員道路を横断する自転車とそれに接近する広幅員道路から狭幅員道路へ左折する自動車や逆に狭幅員道路から出てくる自動車の行動（走行位置・速度）を記録することを目的とし、8mmカメラを用いて1回の調査で約90分、自転車100台を目安に撮影を行った。また、図—1に示す横断自転車（図の(a), (b)）および自動車（図の(c), (d), (e)）の交通量を測定した。結果は表—1のとおりである。

### (3) 撮影フィルムの解析

撮影した自転車・自動車は解析機を用いて約0.2



図—1 調査交差点の座標系と測定交通量

表—1 調査交差点の概要

単位: 台, 台/時, m

| 調査<br>交差点<br>番号 | 交差点の種別     |          | 図—1<br>のW | 所在地          | 調査日<br>(いずれも<br>1984年) | 交通量<br>(記号は図—1 参照) |     |     |     |      | 調査台数    |         |
|-----------------|------------|----------|-----------|--------------|------------------------|--------------------|-----|-----|-----|------|---------|---------|
|                 | 自転車<br>横断帯 | 横断<br>歩道 |           |              |                        | (a)                | (b) | (c) | (d) | (e)  | 自転<br>車 | 自動<br>車 |
|                 |            |          |           |              |                        |                    |     |     |     |      |         |         |
| ①               | Ⅰ          | 有り       | 有り        | 大阪市<br>西区    | 11月21日                 | 60                 | 70  | 92  | 52  | 588  | 103     | 69      |
| ②               |            |          |           |              | 12月24日                 | 26                 | 46  | 106 | 80  | 394  | 92      | 48      |
| ③               | Ⅱ          | 有り       | なし        | " 港区<br>" 西区 | 11月22日                 | 90                 | 70  | 4   | 24  | 480  | 196     | 30      |
| ④               |            |          |           |              | 12月17日                 | 54                 | 52  | 56  | 48  | 330  | 102     | 46      |
| ⑤               | Ⅲ          | なし       | なし        | " 西区<br>" 港区 | 12月6日                  | 26                 | 40  | 56  | 60  | 1262 | 70      | 87      |
| ⑥               |            |          |           |              | 11月20日                 | 108                | 60  | 32  | 24  | 692  | 139     | 21      |

注) ①と②は同一交差点で調査日が異なる。

秒間隔で画面上の存在位置を求め、これに座標変換を行って各瞬間の道路上の位置を算出し、また、コマ間の移動距離から走行速度をコマ間ごとに求めて以後の分析のデータとした。

### 3. 調査交差点における自転車・自動車の行動特性

#### (1) 交差点別の横断自転車の行動特性

調査から得られた自転車の横断位置ついて、図-1に示す分析対象範囲を図のY座標値で1mごとに分割した細長いゾーンを考え、ここを直進横断する自転車のそれぞれのゾーンにおける延べ走行距離を求めた。なおY座標の原点は図のように歩道外側端にとった。横断歩道・自転車横断帯は対象とした全交差点において、それが存在していればそれぞれY座標値の0～4m・4～6mに位置する配置となっていた。この分析より横断位置の分布形が求められるが、これを交差点別に累積分布にして示したのが図-2である。これを見ると各交差点とも図の中央部分かそれより右側の自転車横断帯に近い部分での横断の多いことがわかる。調査交差点別にみると自転車横断帯も横断歩道もある①②においては自転車横断帯部分の利用が特に多く、約半数に達している。

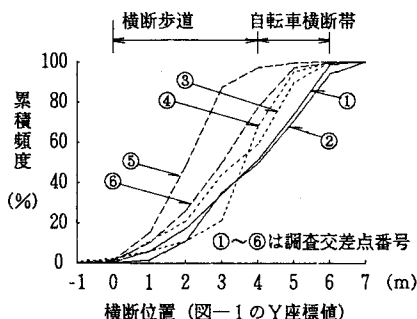


図-2 調査交差点別の自転車の横断位置分布

表-2 横断位置分布の $\chi^2$ 検定

| 調査<br>交差点<br>番号 | 観測デ<br>ータの<br>平均値 | 交差点種別モデル |            |           | 全サンプルモデル |            |           |
|-----------------|-------------------|----------|------------|-----------|----------|------------|-----------|
|                 |                   | 平均値      | $\chi^2$ 値 | 有意<br>水準% | 平均値      | $\chi^2$ 値 | 有意<br>水準% |
| ①               | 3.45              | 3.54     | 2.00       | 84.9      | 3.05     | 24.88      | 0.1       |
| ②               | 3.65              |          | 2.56       | 77.0      |          | 23.17      | 0.1       |
| ③               | 3.21              |          | 10.21      | 11.7      |          | 62.09      | 0.0       |
| ④               | 3.02              | 3.15     | 12.04      | 6.4       |          | 11.65      | 4.9       |
| ⑤               | 1.87              |          | 16.31      | 0.6       |          | 68.61      | 0.0       |
| ⑥               | 2.66              |          | 10.02      | 3.9       |          | 14.32      | 1.3       |

注) 「平均値」は図-1のY座標値の平均を表してある。

これに対し自転車横断帯も横断歩道もない⑤⑥では図のより左側の割合が高く、自転車横断帯に相当する部分の利用は1～2割程度に過ぎない。自転車横断帯だけがある③④ではこの中間的な傾向にある。

図-2では調査交差点ごとに異なる分布形が示されていたが、この差異の有意性を検討するためにつぎのような $\chi^2$ 検定を行った。まず(1)交差点種別(自転車横断帯・横断歩道の有無)によって分布が決まるとするモデルと(2)交差点間で分布形に差異はないとするモデルの2つを考えた。そして(1)については交差点種別ごとに観測データをプールしたものを理論分布に用い、(2)では全サンプルのデータをプールした分布を理論分布に用いて、各調査交差点の横断位置分布のこれらへの適合度を $\chi^2$ 検定により求めた。この結果を表-2に示す。通常 $\chi^2$ 検定では有意水準が例えば5%以上で適合性を否定できないと考えるが、この分析の結果では、交差点間に差異がないとしたモデルは適合し得ないといえるのに対し自転車横断帯・横断歩道の有無を考慮したモデルではおおむね適合を否定できない結果になっている。これらの結果から自転車横断帯・横断歩道の有無の横断位置への影響は有意といえる。

横断区間における自転車の速度の平均・標準偏差を表-3に示す。自転車横断帯・横断歩道の有無で比較すると、共に設置されている①②で速度が高く、自転車横断帯のみの交差点、共に設置されていない交差点の順に低くなる傾向にある。表-4は、これを「自転車横断帯・横断歩道の有無の要因」「それ以外の交差点間の差異」「その他の残差(個人差や

表-3 調査交差点別の横断自転車の走行速度

| 単位：m/秒 |        |      |       |      |       |      |
|--------|--------|------|-------|------|-------|------|
| 調査     | 調査交差点別 |      | 交差点種別 |      | 全サンプル |      |
| 交差点番号  | 平均     | 標準偏差 | 平均    | 標準偏差 | 平均    | 標準偏差 |
| ①      | 3.87   | 1.11 | 3.90  | 1.14 | 3.72  | 1.00 |
| ②      | 3.95   | 1.17 |       |      |       |      |
| ③      | 3.60   | 0.92 | 3.71  | 0.95 |       |      |
| ④      | 3.95   | 0.98 |       |      |       |      |
| ⑤      | 3.60   | 0.89 | 3.53  | 0.86 |       |      |
| ⑥      | 3.49   | 0.83 |       |      |       |      |

表-4 調査交差点の差異による自転車の横断速度の分散分析

|                | 分散      | 自由度 | F 値  | 有意水準  |
|----------------|---------|-----|------|-------|
| 自転車横断帯・横断歩道の有無 | 102.93  | 2   | 7.16 | 0.1 % |
| 上記以外の交差点間の差の要因 | 64.29   | 3   | 4.71 | 3.1   |
| その他の残差         | 5004.75 | 696 | —    | —     |

注) F値とその有意水準は「その他の残差」に対するもの。

横断の進行に伴う変動を含む)」の3つに分けて分散分析を行ったものである。この結果、交差点間の差異の有意性が確かめられ、特に自転車横断帯・横断歩道の有無の寄与が大きいことがわかった。

以上をまとめると、自転車横断帯を設置すること、さらには横断歩道をも設置して自転車の走行すべき位置を明確にすることにより、歩行者と自転車の分離が進み、それに伴い自転車は速く走ることが明らかになった。なお、これは信号交差点における筆者らの既往の研究<sup>6)</sup>で得られた結果と同じ傾向にある。

### (2) 自動車の接近による自転車の行動への影響

自転車の横断位置を横切る自動車が横断自転車の行動に及ぼす影響を調べるため、図-1に示す広幅員道路からの左折車および広幅員道路への左折車(図の(c), (d))の存在の有無で自転車を分類し横断位置・速度を分析した。なお、この両方の自動車が同時に存在した場合や歩行者等の他の影響要因が考えられるケースについては分析対象から除外した。

表-5は横断位置の平均値(図-1のY座標値)を自転車横断帯・横断歩道の有無別に示したものである。これを見ると一般に自動車の存在によって横断位置が変化しており、場合によっては2mも異なっている。しかし変化の方向については、全般に負の方向すなわち交差点中心とは反対の方向へ変化しているが、自動車の進行方向と対応しているとはいえない。表-6は横断方向と直角方向の速度成分の絶対値について同じ分類で平均を求めたもので、自

動車の存在する場合は値が大きく、蛇行あるいは斜めに横断する傾向の強いことがうかがえる。いずれの結果からも、自動車の存在する場合には多くの自転車は自動車のいない場合に比べ横断位置を変更するような行動をとっているといえる。これを交差点種別にみると自転車横断帯のないⅢのケースでこのような行動が顕著であるのに比べ自転車横断帯のある交差点ではこれが小さく、自転車の優先権を明示するという自転車横断帯の効果が認められるといえよう。しかし自転車横断帯のあるⅠⅡの交差点においても自動車が存在する場合としない場合で行動に差異が認められ、自転車横断帯における自転車の優先権が十分に守られているとはいえないことがわかる。

### (3) 自転車と交錯する自動車の行動

交差点走行時の自動車の走行パターンを代表する指標のひとつと考えられる「速度が最低になる位置」と「その時の速度」を用いて、自転車と交錯する位置関係にある自動車の行動を分析した。ここで対象とした自動車は前節と同様、広幅員道路からの左折車と広幅員道路への左折車である。表-7は自転車が存在した場合と存在していなかった場合に分け、速度が最低になった地点を図-1のY座標で表したものである。自転車のいない場合は座標値は2~5mの値になっているが、自転車のいる場合はこれより手前の位置で、すなわち広幅員道路への左折車はYの小さいところで、広幅員道路からの左折車はY

表-5 接近する自動車の有無別にみた

自転車の横断位置 単位: m

| 交差点<br>の種別 | 接近する自動車の方向         |                   |                  | (c)-(x) | (d)-(x) |
|------------|--------------------|-------------------|------------------|---------|---------|
|            | 広幅員<br>道路<br>から(c) | 広幅員<br>道路へ<br>(d) | 自動車<br>なし<br>(x) |         |         |
| I          | 6.28               | 7.28              | 7.60             | -1.32   | -0.32   |
| Ⅱ          | 3.74               | 8.22              | 6.57             | -2.83   | 1.65    |
| Ⅲ          | 3.76               | 2.53              | 4.86             | -1.10   | -2.33   |

注) 値は図-1のY座標値の平均を表してある。

表-7 自動車の最低速度時の位置

単位: m

| 交差点<br>の種別 | 広幅員道路への左折車   |              |         | 広幅員道路からの左折車  |              |         |
|------------|--------------|--------------|---------|--------------|--------------|---------|
|            | 自転車<br>有り(p) | 自転車<br>なし(q) | (p)-(q) | 自転車<br>有り(r) | 自転車<br>なし(s) | (r)-(s) |
| I          | 2.35         | 3.56         | -1.21   | 4.84         | 4.41         | 0.43    |
| Ⅱ          | 2.07         | 2.75         | -0.68   | 5.51         | 3.95         | 1.55    |
| Ⅲ          | 1.95         | 3.99         | -2.04   | 4.19         | 3.20         | 0.99    |

注) 自動車の位置は図-1のY座標値で表してある。

表-6 接近する自動車の有無別にみた進行方向と直角  
方向の速度成分の絶対値 単位: m/秒

| 交差点<br>の種別 | 接近する自動車の方向         |                   |                  | (c)-(x) | (d)-(x) |
|------------|--------------------|-------------------|------------------|---------|---------|
|            | 広幅員<br>道路<br>から(c) | 広幅員<br>道路へ<br>(d) | 自動車<br>なし<br>(x) |         |         |
| I          | 0.674              | 0.651             | 0.477            | 0.197   | 0.174   |
| Ⅱ          | 0.497              | 0.798             | 0.434            | 0.063   | 0.364   |
| Ⅲ          | 0.724              | 0.708             | 0.434            | 0.290   | 0.274   |

表-8 自動車の最低速度

単位: m/秒

| 交差点<br>の種別 | 広幅員道路への左折車   |              |         | 広幅員道路からの左折車  |              |         |
|------------|--------------|--------------|---------|--------------|--------------|---------|
|            | 自転車<br>有り(p) | 自転車<br>なし(q) | (p)-(q) | 自転車<br>有り(r) | 自転車<br>なし(s) | (r)-(s) |
| I          | 0.91         | 2.32         | -1.41   | 3.48         | 4.37         | -0.89   |
| Ⅱ          | 1.11         | 2.00         | -0.89   | 1.72         | 4.17         | -2.45   |
| Ⅲ          | 0.92         | 2.51         | -1.59   | 2.20         | 4.37         | -2.17   |

注) 表-5~8における「交差点の種別」は表-1参照のこと。

の大きいところで最低速度が現れている。さらに表-8の最低速度をみても自転車のいる場合はいない場合に比べ速度が低くなっており、これらのデータから、自転車がいれば自動車はその手前で速度を落として通過を待つ傾向にあることがわかる。

交差点種別に見ると、自転車横断帯のあるⅠⅡでは自転車のいる場合いない場合ともにⅢに比べて左折車はより手前で最低速度になっていることがわかる。また自転車が存在しない場合の最低速度は自転車横断帯のあるⅠⅡはⅢに比べ低めの値である。これらは、自転車横断帯があれば実際の自転車の有無の判断より先に自転車存在の可能性を考えて、前もって減速する行動がとられているためと考えられる。

#### 4. 横断自転車の受ける危険性の評価方法

##### (1) 評価の考え方

一般に交通場面における安全・危険を評価する方法には、発生した事故のデータを用いる方法、当事者の意識等の主観的な評価を用いる方法、そして事故以外の客観的データすなわち安全に関連すると考えられる行動等のデータを用いる方法に大別される。本研究のように自転車の危険、とくに当事者の行動の是非を評価する場合には、事故データを用いようとすると事故発生時の状況に関する詳細な情報が必要となるばかりでなく、相当数のデータを用いなければ事故の偶然性のため統計的に信頼できるものとはなり難い。過去の研究においても自転車利用者の意識に基づいたものや行動データを用いたものが中心である。本研究では、すべての利用者が現在の交通のルールで最低限必要とされる回避行動しかとらないと仮定した場合の衝突が発生する期待値を観測された行動データから求めるという方法を用いるこ

ととした。そして、このために自転車・自動車の行動を以下のようにモデル化した。

まず回避行動については次のような仮定を設けた。(1)自転車は回避行動は行わず希望する一定の速度で希望する位置を横断方向に直進する。(2)自動車は自転車が自転車横断帯（あるいは横断歩道、また、これらのない交差点ではそれに相当する部分の車道）に入った時点でその自転車が横断するものであることを判断し、必要であれば回避行動として一定の減速度で減速する。この時の軌跡は自転車の影響を受けない場合と変化はない。

この仮定を設定するに当たっては、自転車は絶対的な優先権を持ったものとした。また、自動車が横断自転車を認識して回避を始める時点については、現実には多くの未知の問題があり必要条件として注視行動や発見能力といった要因を考慮することも重要と思われるが、ここでは一つの行動規範として少なくとも仮定(2)のような行動をすべきであるという考えに立ってこれを設定した。

回避行動時以外の行動については、相互の影響を受けていない場合の調査データで表されるものとした。自転車の実際の存在にかかわらず自動車が前もって予防的に行う減速等の回避行動はこの調査データで表されるものとする。

##### (2) 衝突発生判定

自転車・自動車の回避行動を含めた行動を前述のように仮定した場合、任意の一組の自転車と自動車が衝突するか否かを次のようにして判定することとした。

まず、一台の自転車について、それが図-3に示すような横断を開始する位置に存在する瞬間、すなわち仮定(2)において自動車がこの自転車を認識する時点を考える。なお、この図は広幅員道路からの左折自動車を示してあるが、狭幅員道路から広幅員道路への左折車についても同様に考えることとする。

この場面において、自転車の横断位置（図-3の $Y_b$ ）、速度（ $V_b$ で一定とする）、および自転車の長さ（ $B_w$ ）は、仮定(1)より自動車の影響がない場合の調査データと同じものをあてはめることとする。同じ瞬間の自動車の位置は任意に考え、軌跡交点（図-3の点O）までの距離を $L_c$ とし、回避行動をとらない場合に点Oに達するまでの時間を $T_m$ とする。さ

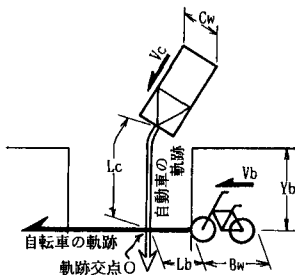


図-3 自転車と自動車の衝突の判定

らに点Oを通過し終えるまでの時間を $T_c$ とする。また自転車から軌跡交点までの距離は $L_b$ とし、自動車の幅は $C_w$ とする。これらの自動車に関する諸量もやはり自転車の影響がない場合のものばかりであるので、そのような調査データの任意のものをあてはめればよい。

この場合、まず自動車が回避行動をとらなくても衝突が起こらない条件として、自転車が自動車の前を進む場合、後ろを進む場合のそれぞれがあり、次の式(1)(2)で表される。

$$(L_b + B_w + C_w / 2) / V_b < T_m \quad \text{----- (1)}$$

$$(L_b - C_w / 2) / V_b > T_c \quad \text{----- (2)}$$

さらに自動車が一定の減速度 $\beta$ で減速する場合には、衝突が発生せずに自転車が自動車の前を進む条件として、自動車が $L_c$ 区間で停止する場合とそうでない場合が考えられ、次の式(3)(4)で表される。

$$V_c^2 - 2\beta L_c \leq 0 \quad \text{----- (3)}$$

$$V_c^2 - 2\beta L_c > 0, \text{ かつ}$$

$$\frac{L_b + B_w + C_w / 2}{V_b} < \frac{V_c - \sqrt{V_c^2 - 2\beta L_c}}{\beta} \quad \text{----- (4)}$$

これらの式(1)~(4)のいずれかが満たされている場合には衝突は起こらないと考えることができる。ここで、減速度 $\beta$ は回避行動時ということから通常の走行ではみられないような大きな値を設定することは妥当である。そこで $\beta$ の関数である回避行動を起こした場合の点Oへの到達時間(式(4)の右辺)は回避行動をとらなかった観測データの値 $T_m$ (式(1)の右辺)より大きくなると考えてよい。この場合、式(1)が成り立つときは常に式(4)も満足しているから、以後は式(1)は考えなくてよいことになる。したがって以下では式(2)~(4)のいずれかが満たされない場合を衝突が起こる場合と判断することとした。

### (3) 衝突発生の期待値

現実にはさまざまな自転車の走行位置・速度および自動車の走行位置・速度パターンについての組合せが起こる。この節ではこれらの組合せの全体に関する衝突発生の期待値を求める方法について述べる。

前節の衝突発生の判定に必要なデータはすべて自転車と自動車が互いに影響しない場合のものだけである。そこでこのような状況下で観測された自転車と自動車のデータは互いに独立関係にあるとみることができることから、調査データの中の自転車と自動車を任意に組合せて式(2)~(4)にあてはめることができる。そして、このようにして数多くの組合せを作り出し、それぞれに関する衝突の判定結果をそれぞれの組合せが現実には発生する確率で重みをつけて平均するという数値的な手法を用いることにより、調査交差点の平均としての衝突発生確率を求めることができる。

本研究ではこの過程の一部を解析的に扱うことにより計算量を減らすようにした。解析的に解くことにしたのは、自転車の速度の要因に関してである。自転車の速度は自動車等のいない場合、一つの調査交差点では横断位置等の他の要因との関連が見られなかったため、調査交差点ごとに正規分布に従うと仮定することにした。そして、自転車の速度以外の条件を組合せて、その各々について式(2)~(4)の条件を満たすような自転車の速度 $V_b$ の範囲を求め正規分布関数よりその確率を求める方法をとった。そしてこの確率に自転車の速度以外の条件が実際に発生する確率を以下のように求め、この重みをつけて期待値とした。

まず調査で得られた自動車のデータは一台一台が同じ確率で現れうると考え同じ重みを持たせた。また一台の自動車に関する各時間断面のデータに関しては次のように考えた。前節の評価は図-3の $L_c$ 区間(それに要する時間を式(1)では $T_m$ と表示、 $T_m$ は式(2)の $T_c$ とも関連)に他の自動車が存在しないという条件の下でのものである。そこで、到着時間分布が指数分布に従うと仮定することによりこの位置に最初の到着車が存在する確率密度

$$f(T_m) dT_m = \lambda \exp[-\lambda \cdot T_m] dT_m \quad \text{---- (5)}$$

(ただし $1/\lambda$ は平均到着時間間隔)

で重みづけを行うこととした。これによって自動車の交通量の多い場合には横断自転車が利用できるギャップの短くなることが評価に反映される。自転車の横断位置としては図-2のような分布形を用い、各々の階級の中心について評価した後に、その位置の利用頻度で重みづけして平均をとることとした。

## 5. 調査交差点における危険性の評価

### (1) 観測データによる評価

前節で述べた方法によって、本研究で対象とした表一1の6つの交差点の調査データの危険性評価を行った。ここでは、各交差点における行動特性の差異がどのような危険性の差異となって現れるかを知ることが目的としたため、式(5)の $\lambda$ の値は実際の観測値を用いず各調査交差点共通の値とすることにより到着する自動車の交通量をそろえた場合の評価値を算出した。評価に用いるパラメータのうち自動車の回避時の減速度 $\beta$ は、自動車の加減速行動のデータにおいて現れうるうちのほぼ最大の値である $4.0\text{m}/\text{秒}^2$ を用いた。また自転車の長さ $B_w$ は $2\text{m}$ と仮定し、 $\lambda$ は調査交差点①の値を採用して全調査交差点に用いた。表一9は各調査交差点における評価の結果である。これをみると④や②で衝突発生確率が低い値になっている。自転車横断帯の有無で見ると、自転車横断帯のある①～④は⑤⑥に比べ低めの値と見ることができよう。

### (2) 行動特性が評価値に及ぼす影響

自動車の速度やその変化パターン、そして自転車の速度が危険性に及ぼす影響について明らかにするために、調査データの行動特性に対し、以下に述べるような操作を施して評価に用いることとした。な

表一9 調査交差点での評価結果

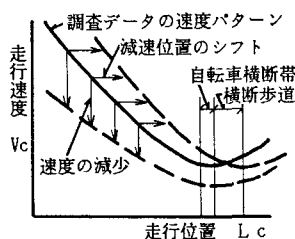
| 単位：％    |        |         |        |
|---------|--------|---------|--------|
| 調査交差点番号 | 危険性評価値 | 調査交差点番号 | 危険性評価値 |
| ①       | 4.53   | ④       | 3.85   |
| ②       | 4.10   | ⑤       | 4.28   |
| ③       | 4.46   | ⑥       | 5.57   |

お評価の対象としては、調査交差点①のデータを用いたが、他の交差点でもほぼ似た結果が得られた。

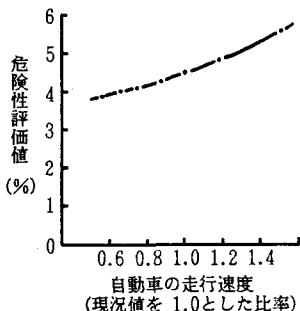
まず、自動車の走行速度の影響をみるため、調査データの各地点における速度を一定の比率で増減させた場合のデータを評価することとした（図一4参照）。この結果を図一5に示す。これをみると、速度が現状の8割に低下すると、それにつれて衝突の確率が4.5％から4.2％へと減少する。しかし、速度が低下するにつれて、危険性の減少が鈍る傾向がみられる。

自動車の減速の位置（速度変化パターン）の変化の影響をみるため、図一4のように自動車の位置と速度の対応を前後にシフトさせた。これにより3章3節でみた最低速度位置も同時に移動することになる。結果を図一6に示す。これをみると、最低速度位置が現在に比べ自転車横断帯から遠ざかる方向に変化すると、それにつれて衝突の危険性も減少し、 $2\text{m}$ 遠ざかると衝突の確率は4.5％が3.6％に減少している。

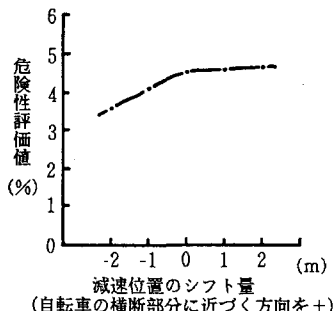
自転車の速度を変化させた結果を図一7に示す。自転車の速度は前述のように正規分布に従うものとして扱っているが、変化させるに際しては平均・標準偏差とも一定の比率で増減させた場合の評価を行った。これをみると、自転車の速度が低くなれば危



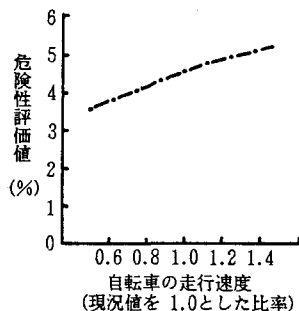
図一4 自動車の速度パターンデータの操作



図一5 自動車の速度の危険性への影響



図一6 自動車の減速位置の危険性への影響



図一7 自転車の速度の危険性への影響

険性が減少することがわかる。速度の2割の減少で衝突の確率は4.5%が4.1%に減り、自動車の速度の影響に比べ、やや大きめである。また速度の減少に伴って、危険性はほぼ直線的に減少する傾向にある。

これらの結果から、自転車が地区内街路などを横断する場合の安全性を高めるには、自動車は十分手前で十分減速して自転車の安全を確認するような行動をとること、自転車も速度を落として横断することが望まれることがわかった。また、3章3節において自転車横断帯の効果として自動車は前もって減速する傾向が見られたが、本節の結果からこれが安全性の向上に役立っているといえる。なお自転車の速度の減少が安全につながるという結果が得られたことから、今後は自転車利用者の安全をも含めた走行便益を総合的にみる研究や、安全のために自転車利用者が負うべき義務についての議論が必要と考えられる。

## 6. まとめ

本研究は、自転車道と地区内街路等が交差する比較的小さな交差点において横断自転車およびそれに接近する自動車の行動を調査し、安全面からはどのような行動が望まれるかを明らかにしたものである。そのために、横断自転車や自動車の行動特性を明らかにするとともに、調査データから行動の危険性を評価する方法を提案した。得られた主な成果は次のとおりである。

- ① 自転車横断帯・横断歩道の有無別に自転車の横断の位置分布、横断速度を明らかにした。
- ② 横断自転車および、それに接近する自動車の存在が互いの行動に及ぼす影響を明らかにした。
- ③ 自転車横断帯のある交差点では多くの自転車が横断帯を利用し、それに接近する自動車は自転車横断帯のない交差点に比べ、回避に備えて前もって減速する行動がみられた。しかし、自動車が接近するときの自転車は、自動車がいない場合には見られない行動をとっており、自転車優先が十分守られているとは言えない状況が明らかになった。
- ④ 横断自転車とそれに接近する自動車の回避行動に一定の仮定を設けた下での衝突発生確率を

調査データより求める方法を示し、危険性評価に用いることを提案した。

- ⑤ ④で提案した方法により、調査交差点の現状を評価するとともに、行動が危険性に及ぼす影響を明らかにすることにより、安全面から望まれる行動を明らかにした。
- ⑥ 分析の対象とした交差点において横断する自転車の安全性を高めるには、自動車は十分手前で十分減速して自転車を確認するような行動をとること、自転車が速度を落として横断することが望まれることがわかった。

なお、本研究を遂行するにあたり、終始、適切な指導をいただいた、大阪大学工学部毛利正光教授に心から感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 高岸節夫：自転車交通問題への対応，交通科学，Vol.14，pp41～46（1985）
- 2) 天野光一，梶太郎：自転車と歩行者の混合交通の安全性に関する実態調査（その2），土木学会第36回年次学術講演会講演概要集Ⅳ—98（1981）
- 3) 高岸節夫：歩道を走行する自転車による歩行者の通行障害に関する一評価，土木学会第39回年次学術講演会講演概要集Ⅳ—96（1984）
- 4) 山川 仁：地区交通における自転車の駐車および走行施設の分析と評価，土木計画学研究・論文集1，pp83～90（1984）
- 5) 山川 仁：交差点における自転車と自動車の錯綜現象の分析，土木学会第35回年次学術講演会講演概要集Ⅳ—21（1980）
- 6) 毛利正光，山田 稔：自転車等の行動特性からみた自転車横断帯の評価，第15回日本道路会議一般論文集 pp735～736（1983）
- 7) 山田 稔：自転車の横断行動とそこに潜在する危険性からみた自転車横断帯の評価，交通科学，Vol.12，No.2，pp27～34（1983）